

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

**В. О. ТКАЧОВ, І. М. ЧУБ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

# **ВОДОПІДГОТОВКА В СИСТЕМАХ ТГП і В**

*(для студентів 5 і 6 курсу всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти  
спеціальностей 7.092108, 8.092108 (7.06010107, 8.06010107)  
«Теплогазопостачання і вентиляція»)*

**Харків  
ХНАМГ  
2012**

**Ткачов В. О.** Конспект лекцій з дисципліни «Водопідготовка в системах ТГП і В » (для студентів 5 і 6 курсу всіх форм навчання спеціальностей 7.092108, 8.092108 (7.06010107, 8.06010107) «Теплогазопостачання й вентиляція») / В. О. Ткачов, І. М Чуб; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; - Х. : ХНАМГ, 2012. - 50 с.

Автори: В. О. Ткачов, І. М. Чуб.

Рецензент: докт. техн. наук, проф. С. С. Душкін

Рекомендовано кафедрою *водопостачання, водовідведення та очищення вод*, протокол засідання № 1 від 30.08.2010 р

© В. О. Ткачов, І. М Чуб,  
ХНАМГ, 2012

## ЗМІСТ

	стр.
Вступ .....	4
1. Значення водопідготовки у житті людини та процесах ТПП і В.....	5
1.1. Показники якості води.....	5
1.2 Вимоги до якості води різних споживачів.....	9
1.3. Характеристика основних процесів обробки води.....	10
1.4. Класифікація процесів обробки води. ....	11
2. Процеси та апарати для видалення з води зважених речовин.....	15
2.1 Коагуляція.....	16
2.2 Коагуляція з вапнуванням.....	16
2.3 Схеми та апарати.....	17
3. Методи зм'якшення води і їхній вибір.....	20
3.1 Термічний метод зм'якшення води .....	20
3.2 Реагентні методи зм'якшення води.....	21
3.3 Катіоніти, аніоніти і їхні властивості.....	25
3.3.1 Фізико-хімічні властивості іонітів.....	27
3.4 Зм'якшення іонним обміном.....	30
3.4.1 Водень-катіонування води.....	32
3.4.2 Водень-натрій-катіонування води.....	34
4. Принципові схеми знесолення води іонним обміном.....	35
4.1 Апарати з нерухливим шаром іоніту.....	35
4.2. Апарати у яких рухається або кипить шар іоніту.....	36
4.3. Апарати зі змішаним шаром іонітів.....	39
5. Видалення з води розчинених газів.....	40
6. Опріснення води методом дистиляції. Загальні поняття й визначення.....	43
7. Накипоутворення. Види накипу, її властивості.....	46
Список джерел.....	49

## **ВСТУП**

**Водопідготовка в системах ТГП і В** вивчає сучасні методи обробки води, новітні технологічні та апаратурні рішення, устрій, принцип дії, засоби розрахунку установок та схем водопідготовки.

Вода в енергетиці використовується в процесі виробництва електроенергії як теплоносій робочого тіла, сповільнювача нейтронів, розчинника, транспортера твердих продуктів і таке ін. Обсяги води, що використовуються в енергетиці величезні - більше 50% промислового споживання води в Україні. На вироб 1 кВт·часу використовується до 0,18 т води. На охолодження використовується до 98% води, що застосовується в енергетиці, остання частина використовується у якості робочого тіла, уповільнювача та ін.; 1% втрачається безповоротно. В залежності від призначення води вибирається відповідна технологічна схема її обробки або очистки.

У цей час нові електростанції проектують із замкнутою системою оборотного охолодження конденсаторів з нормованою продувкою, що впливає на навколишнє середовище хімічним і тепловим впливом. Зовсім природньо, що в найближчі роки в Україні будуть прийняті більше тверді норми на скидання рідких відходів зі станцій і в перспективі скидання води буде повністю заборонено.

Вивчення курсу водопідготовки передбачає ознайомлення з технологічними схемами підготовки води для технологічних потреб, спеціальною обробкою води: пом'якшенню, опрісненню, знесоленню та інше, які поширені в галузях водопостачання, водопідготовки.

## **1. ЗНАЧЕННЯ ВОДОПІДГОТОВКИ У ЖИТТІ ЛЮДИНИ ТА ПРОЦЕСАХ ТГП і В**

Довгі роки та сторіччя водопідготовка не виділялась як галузь техніки, та ще менш - як галузь хімічної технології. Використовувалися емпірично знайдені прийоми та способи очищення води, головним чином, протиовіінфекційні. І тому історія водопідготовки - це історія пристосування для підготовки та очищення води відомих хімічних процесів і технологій, що знайшли або знаходять своє застосування.

Состав води по макро - і мікрокомпонентах для питного або промислового застосування повинен задовольняти певним нормам, які розглянуті нижче.

Для водопостачання об'єктів ТГВ використовуються в більшості випадків природні води: як поверхневі так і підземні. Також, останнім часом, у зв'язку з дефіцитом води, енергооб'єкти використовують воду циркуляційних систем підприємств і малозабруднені стічні води. Всі води містять різноманітні домішки, що попадають у воду в процесі її природного коловороту у природі. Крім того, можливе забруднення вододжерел побутовими та промисловими стоками.

### **1.1 Показники якості води**

У цей час на підприємствах теплоенергетики залежно від якості вихідної та вимог до додаткової води застосовуються різні схеми установок водопідготовки (ВПУ). У загальному виді всі вони містять у собі предочистку води (очищення від механічних домішок) і іонний обмін [1].

Відповідно до правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж (ПТЕ), режим експлуатації установок водопідготовки і водно-хімічний режим повинні забезпечити роботу електростанцій і підприємств теплових мереж без ушкоджень і зниження економічності, викликуваних корозією внутрішніх поверхонь і утворенням накипу.

Устаткування сучасних ТЕЦ експлуатується при високих теплових навантаженнях, що вимагає твердого обмеження товщини відкладень на поверхні нагрівання за умовами температурного режиму їхнього металу протягом робочої кампанії [2]. Такі відкладення утворюються з домішок, що надходять у цикли електростанцій, у тому числі й з додатковою водою, тому забезпечення високої якості водних теплоносіїв ТЕС, ТЕЦ і АЕС є найважливішим завданням [3]. Використання водного теплоносія високої якості спрощує також рішення завдань одержання чистої пари, мінімізації швидкостей корозії конструктивних матеріалів казанів, турбін і встаткування конденсатно-випарного тракту.

Вода є, по суті, вихідною сировиною, що після належної обробки (очищення) використовується для наступних цілей: а) як вихідна речовина для одержання пари в казанах, парогенераторах, ядерних реакторах киплячого типу, випарниках, паропереутворювачах; б) для конденсації пари, що відробило в парових турбінах; в) для охолодження різних апаратів і агрегатів ТЕС і АЕС; г) як теплоносій у теплових мережах і системах гарячого водопостачання. Для

задоволення різноманітних вимог до якості води, споживаної при виробітку електричної й теплової енергії, виникає необхідність спеціальної фізико-хімічної її обробки [4].

Найважливішими показниками якості води, що визначають придатність її при використанні для пиття, у промисловості та енергетиці, є :

1. зміст зважених речовин (прозорість);
2. солевміст (сухий залишок, загальна мінералізація);
3. загальна твердість;
4. окислюваність (зміст органічних речовин);
5. лужність;
6. концентрація водневих іонів - рН;
7. зміст корозійно – активних газів ( $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$ ).

**Під якістю природної води** в цілому розуміється характеристика її склада та властивостей, що визначає її придатність для конкретних видів водокористування (ДЕРЖСТАНДАРТ 17.1.1.01–77), при цьому критерії якості являють собою признаки, по яких виробляється оцінка якості води.

**Зважені тверді домішки**, що є присутнім у природних водах, складаються із часток глини, піску, мулу, суспендированих органічних і неорганічних речовин, планктону і різних мікроорганізмів. Зважені частки впливають на прозорість води. Зміст у воді зважених домішок, вимірюваний в мг/л, дає уяву про забруднення води частками в основному умовним діаметром більше  $1 \cdot 10^{-4}$  мм. При наявності у воді зважених речовин менш 2–3 мг/л чи більш визначених значень, або умовний діаметр частиць менш  $1 \cdot 10^{-4}$  мм, визначення забрудненості води роблять косвенно по мутності води.

**Мінералізація** (солевміст, сухий залишок) – сумарний зміст всіх знайдених при хімічному аналізі води мінеральних речовин. Мінералізація природних вод, що визначає їхню питому електропровідність, змінюється в широких межах. Більшість рік має мінералізацію від декількох десятків міліграмів у літрі до декількох сотень. Їхня питома електропровідність варіює від 30 до 1500 мксм/см. Мінералізація підземних вод і солоних озер змінюється в інтервалі від 40-50 мг/л до сотень г/л (щільність у цьому випадку вже значно відрізняється від одиниці). Питома електропровідність атмосферних опадів з мінералізацією від 3 до 60 мг/л становить значення 10-120 мксм/см.

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 17403-72 природні води по мінералізації розділені на групи (табл. 1.1). Межа прісних вод - 1 г/кг - установлена у зв'язку з тим, що при мінералізації більше цього значення смак води неприємний - солоний або гірко-солоний.

**Твердість води** обумовлюється наявністю у воді іонів кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ), стронцію ( $\text{Sr}^{2+}$ ), барію ( $\text{Ba}^{2+}$ ), заліза ( $\text{Fe}^{3+}$ ), марганцю ( $\text{Mn}^{2+}$ ). Але загальний зміст у природних водах іонів кальцію і магнію незрівнянно більше змісту всіх інших перерахованих іонів - і навіть їхньої суми. Тому під твердістю розуміють суму кількостей іонів кальцію та магнію - загальна твердість, що складається зі значень карбонатної (тимчасовий, що усувається кип'ятінням) і некарбонатної (постійної) твердості. Перша викликана присутністю у воді гідрокарбонатів кальцію й магнію, друга наявністю сульфатів, хлоридів,

силікатів, нітратів і фосфатів цих металів. Однак при значенні твердості води більше 9 ммоль/л потрібно враховувати зміст у воді стронцію й інших щелочноземельних металів. За значенням загальної твердості природні води ділять на групи - табл. 1.1.

*Таблиця 1.1 - Класифікація води по твердості, одиниця виміру, мг - екв/л*

Група води	Одиниця виміру
Дуже м'яка	до 1,5
М'яка	Більше 1,5 до 4,0
Середньої твердості	Більше 4 до 8
Тверда	Більше 8 до 12
Дуже тверда	Більше 12

**Лужністю** води називається сумарна концентрація аніонів, що втримуються у воді, слабких кислот і гідроксильних іонів (виражена в ммоль/л), що вступають у реакцію при лабораторних дослідженнях із соляною або сірчаною кислотами з утворенням хлористих або сірчаноокислих солей лужних і щелочноземельних металів. Розрізняють наступні форми лужності води: бікарбонатна (гідрокарбонатна), карбонатна, гідратна, фосфатна, силікатна, гуматна - залежно від аніонів слабких кислот, якими обумовлюється лужність. Лужність природних вод, рН яким звичайно < 8,35, залежить від присутності у воді бікарбонатів, карбонатів, іноді та гуматів. Лужність інших форм з'являється в процесах обробки води. Тому що в природних водах майже завжди лужність визначається бікарбонатами, то для таких вод загальну лужність приймають рівної карбонатної твердості.

Зміст **органічних речовин** у воді оцінюється по методиках визначення окислюваності води, змісту органічного вуглецю, біохімічної потреби в кисні, а також поглинання в ультрафіолетовій області. Величина, що характеризує зміст у воді органічних і мінеральних речовин, що окисляються одним із сильних хімічних окислювачів за певних умов, називається **окислюваністю**. Існує кілька видів окислюваності води: перманганатна, біхроматна, іодатна, церієва (методики визначення двох останніх застосовуються рідко). Окислюваність виражається в міліграмах кисню, еквівалентного кількості реагенту, що пішов на окислювання органічних речовин, що втримуються в 1 л води. Для природних малозабруднених вод рекомендовано визначати перманганатну окислюваність (перманганатний індекс); у більш забруднених водах визначають, як правило, біхроматну окислюваність (ХПК).

**Окислюваність перманганатна** вимірюється мгО/л, якщо враховується маса іона кисню в складі перманганату калію, що пішов на окислювання «органіки», або мг  $\text{KMnO}_4$ /л, якщо оцінюється кількість перманганату калію, що пішов на окислювання «органіки».

**Окислюваність біхроматна**, мгО/л, називається також хімічною потребою в кисні (ХПК), – показник, що дає більш правильне подання про зміст у воді органічних речовин, тому що при визначенні ХПК окисляється близько 90% органічних домішок, а при визначенні перманганатної окислюваності – 30–50%. В англійській літературі ХПК позначають терміном

COD (Chemical Oxygen Demand), у німецькій літературі - CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf).

При аналізі ХПК найбільш надійні результати виходять при ХПК = 300–600 мгО/л. При цьому аналізі окисляються іони  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , деякі з'єднання сірки та ін.

**Біохімічна потреба в кисні (БПК<sub>5</sub>, БПК<sub>н</sub>), мгО<sub>2</sub>/л.** Біохімічна потреба в кисні (БПК) – показник, обумовлений при окислюванні «органіки» природних вод не хімічними речовинами, а біохімічними впливами в аеробних умовах. Частіше визначають біохімічне споживання кисню за п'ять діб – БПК<sub>5</sub>, і, як правило, цей показник у поверхневих водах перебуває в межах 0,5–4,0 мгО<sub>2</sub>/л. При визначенні БПК<sub>5</sub> (температура води 20°C, рН=6–8, забезпечений достатній доступ кисню до проби води) окисляється приблизно 70% легкоокислюваних органічних речовин, за 10–20 діб – відповідно 90 і 99% (як правило, але не завжди). Тому, коли визначають БПК<sub>н</sub>, мають на увазі, що процес окислювання триває 15-20, у рідких випадках - до 35 діб.

#### **Загальний органічний вуглець.**

Зміст загального органічного вуглецю (ЗОВ, по закордонних джерелах - ТОС, Total Organic Carbon) - досить надійний показник змісту у воді органічних речовин, у середньому чисельно рівний 50% маси органічних речовин. У природних поверхневих водах значення органічного вуглецю можуть коливатися від 1 до 20 і навіть до декількох сотень мг/л (у болотистих водах).

#### **Водневий показник (рН)**

Величина рН - один з найважливіших показників якості води для визначення її стабільності, накопують утворюючих і корозійних властивостей, прогнозування хімічних і біологічних процесів, що відбуваються в природних водах. Якщо розглядати воду без домішок, то фізична сутність рН може бути описана в такий спосіб. Вода, хоча і досить незначно, - приблизно одна мільйонна частина молекул - дисоціює (розпадається) на іони водню  $\text{H}^+$  і гідроксиду  $\text{OH}^-$  по рівнянню:



Але така ж кількість молекул води одночасно знову утвориться. Отже, состав води при певній температурі та під час відсутності домішок не змінюється.

$$K_w = (\text{H}^+) (\text{OH}^-) = 10^{-14}. \quad (1.2)$$

Добуток концентрацій цих іонів є величина постійна і називається іонним добутком води –  $K_w$ . Тому що розпадається незначна кількість молекул води, то концентрація іонів  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$  малі, тим більш малий їхній добуток. При температурі 24,8 °C  $K_w = 10^{-14}$ .

Збільшення концентрації водневих іонів викликає відповідне зменшення гідроксид-іонів і навпаки. Для нейтрального середовища

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ г·іон/л}. \quad (1.3)$$

Для оцінки кислотності та лужності середовища зручно користуватися не концентрацією водневих іонів, а водневим показником рН. Він дорівнює десятковому логарифму концентрацій водневих іонів, узятому зі зворотним знаком.



$$pH = -\lg [H^+]. \quad (1.4)$$

Якщо у воді розчинена яка-небудь речовина, що є джерелом іонів  $H^+$  і  $OH^-$  (приклади: кислоти  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  і ін.; лугу:  $NaOH$ ,  $KaOH$ ,  $Ca(OH)_2$  та ін.), то концентрації іонів  $H^+$  і  $OH^-$  не будуть рівні, але їхній добуток  $K_w$  буде постійним. Воду залежно від pH раціонально ділити на сім груп табл 1.2.

*Таблиця 1.2 - Класифікація води по pH*

Група води	Значення pH
Сильнокисла	до 3,0
Кисла	Більше 3,0 до 5,0
Слабокисла	Більше 5,0 до 6,5
Нейтральна	Більше 6,5 до 7,5
Слаболужна	Більше 7,5 до 8,5
Лужна	Більше 8,5 до 9,5
Сильнолужна	Більше 9,5

### **Розчинений кисень і диоксид вуглецю**

Надходження кисню у водойму відбувається шляхом розчинення його при контакті з повітрям (абсорбції), а також у результаті фотосинтезу водними рослинами. Зміст розчиненого кисню залежить від температури, атмосферного тиску, ступеня турбулізації води, мінералізації води та ін. Видаляється кип'ятінням, як правило в деаераторах що встановлюються перед казанами.

У поверхневих водах зміст розчиненого кисню може коливатися від 0 до 14 мг/л. В артезіанській воді кисень практично відсутній. Вуглекислий газ  $CO_2$  є присутнім у підземних водах і віддається шляхом аерації.

## **1.2 Вимоги до якості води різних споживачів**

Вимоги до води, використовуваної в різних галузях промисловості та у конкретних виробництвах, істотно відрізняються. Вони відбиті у відповідних Дст, технічних умовах (ТУ) і інших нормативних документах.

Всі промислові підприємства є споживачами води. Вона витрачається для таких основних цілей, як:

- господарсько-побутове водопостачання;
- відвід тепла, підігрівши встаткування, кондиціонування;
- основні технологічні потреби - готування реагентів, напівпродуктів, відмивання деталей.

Вимоги до води для хозяйственно-побутових цілей мінімальні, це, як правило, водопровідна вода.

Води 2 категорії найбільше часто використовуються в оберті, основні вимоги до них - мінімальні корозійна активність і відкладення солей. Це досягається комплексом заходів щодо підтримки в них певного сольового состава та pH.

Вимоги до води для технологічних потреб визначені у відповідних Дст, Остах, ТУ, ТИ й т.п. Ці вимоги для різних виробництв дуже відрізняються друг від друга як по припустимому змісті різних хімічних і механічних забруднень, так і по спеціальних вимогах, наприклад, біологічної стерильності й т.п.

У енергетиці вимоги залежать від використовуваного встаткування та режиму його роботи і коливаються від простого видалення суспензій і солей твердості для тепломереж і парових котелень до глибокого знесолення з видаленням органічних забруднень і розчинених газів (ТЕС, АЕС).

Розчинені у воді речовини можуть викликати неполадки в роботі енергетичного встаткування. В основному це пов'язане з накипними відкладеннями в теплових агрегатах і корозією. У теплообмінній апаратурі, що працює при 25 – 50 °С, виникають низькотемпературні відкладення, основним компонентом яких є карбонат кальцію  $\text{CaCO}_3$ . Накипні відкладення, що утворюються, знижують теплопродуктивність і збільшують втрати напору в трубах.

### **1.3 Характеристика основних процесів обробки води**

При обробці води використовуються багато комбінацій іонообмінних фільтрів. Вони включають предочистку, зм'якшення, демінералізацію (первинна система) і фінішне очищення.

Попередня обробка. Перед фільтрацією через іонообмінну колонку вихідний розчин повинен бути ретельно відфільтрований для очищення від ГДП. Органічні речовини можуть бути частково вилучені за допомогою коагуляції (флокуляції) використанням хлориду заліза, сульфату заліза або сульфату алюмінію з можливою добавкою поліелектролітів або на фільтрах, завантажених органосушлювачами.

Для високолувної сирової води з метою видалення карбонату кальцію може бути використаний класичний процес вапнування. Для повного зм'якшення води застосовують процес содопом'якшення. Для вод з підвищеним змістом силікатів доцільно використовувати процес магнезійного обескремнювання. Ці процеси значно зменшують іонне навантаження на наступні, іонообмінні фільтри.

#### Вибір схеми водопідготовчої (ВПУ) системи теплопостачання

При виборі схеми ВПУ ТС необхідно враховувати сезонність роботи теплового та водопідготовчого встаткування. Найбільш доцільне застосування комбінованих схем ВПУ, що представляють ряд різних способів обробки води, об'єднаних у загальну технологічну схему, окремі елементи якої підключають для часткової або повної обробки вихідної води відповідно до теплового графіка.

Використання комбінованих схем розширює можливості застосування вапнування підкислення Н-Н- або Н-На-катіонування; забезпечує маневреність і економічність системи водопідготовки для теплових мереж у цілому.

При проектуванні схем ВПУ і складанні режимних карт, що враховують сезонність роботи системи теплопостачання, варто визначати необхідну частку зм'якшення за правилами.

## 1.4 Класифікація процесів обробки води залежно від домішок, які містяться у природній воді

### *Дисперсні системи*

*Природна вода* – складна дисперсна система, що містить безліч різноманітних мінеральних і органічних домішок. Дисперсна система складається із дрібних часток речовини, що розподілена в іншій речовині (середовищі). Система називається *гомогенною*, якщо усередині її немає поверхонь розподілу, що відокремлюють одну від одної частини системи, що різняться по властивостях. *Гетерогенні* системи – системи, усередині яких є такі поверхні розподілу. Гомогенна система - однофазна, гетерогенна - складається з не менш двох фаз. При розмірі часток домішок води менше 10-3 мкм - це гомогенна система (однофазна із двох або більше індивідуальних речовин). Якщо розмір часток  $\geq 10^{-3}$  мкм, то домішки утворюють із водою гетерогенну (неоднорідну багатофазну) систему. Істинні розчини, де домішки перебувають у молекулярно - розчиненому виді або у вигляді іонів, - це гомогенні системи. Гетерогенні системи - колоїди (розмір часток: 10<sup>-2</sup>-10<sup>-1</sup> мкм) або суспензії (частки >10<sup>-1</sup> мкм). Суспензії можуть бути представлені суспензіями, емульсіями, пінами (окремих випадок емульсій).

### *Системи класифікації*

Вода - один із кращих розчинників. Спокійно у Світовому океані були - у тім або іншому ступені - розчинені всі речовини Землі. І це розчинення триває. Вже кілька сторіч розробляються системи класифікації природних вод і способи як можна більше короткої характеристики якості води (індекс якості води). Виділено 625 і навіть більше класів, груп, типів і різновидів вод. В.І. Вернадський вважав, що число видів природних вод більше 1500 одиниць. Однак чим більш детально розроблялася класифікація вод, тим більше дослідники віддалялися від бажаної стислості і ясності у визначенні якості води. Виявилося неможливим оцінити придатність води для питних, технічних, інших цілей тільки на основі запропонованих універсальних індексів води. Як і раніше якість води, придатність її для використання оцінюється з комплексу показників, і потрібно визнати, що такий підхід дає лише приблизне знання про якість води. Цим, зокрема, можна пояснити велике (до декількох десятків) кількість нормованих показників для кожного з можливих застосувань. Говорити про якість води має сенс лише у зв'язку з конкретною областю її подальшого використання. До теперішнього часу створено кілька десятків класифікаційних систем, що розглядають здебільшого підземні води. Ці класифікаційні системи є основою для розуміння поглядів авторів на генезис підземних вод, на те, які складові підземних вод і взагалі природних вод головні або більше важливі. Майже всі вони створювалися гідрогеологами й відбивають їхньої пристрасті. Для водопідготовки ці системи мають опосередковане значення - для порівняльного аналізу різних вод в основному в навчальних і статистичних цілях.

Сьогодні найбільш уживані класифікаційні системи С.А. Щукарева, О.А. Алекіна та Л.А. Кульського.

Найбільш характерними та загальними ознаками домішок води є форми їхнього знаходження в ній, тобто фазовий стан, що характеризується дисперсністю речовин. По Л. А. Кульському фазово-дисперсний стан домішок води обумовлює їхнє поводження в процесі водообробки. Кожному фазово-дисперсному стану домішок відповідає сукупність методів впливу, що дозволяє досягти необхідних, якісних показників води зміною цього стану або без зміни його.

На цій основі все різноманіття забруднень (домішок) природних і промислових вод розділено на чотири групи із загальним для кожної групи набором методів водоочищення, зумовленим формою знаходження домішок у воді.

### ***Класифікація Л. А. Кульського***

Практичний інтерес представляє фазово-дисперсна класифікація домішок води, розроблена Л.А. Кульським (табл. 1.3). Для завдань, пов'язаних з очищенням води, ця класифікація корисна тим, що, визначивши фазоводисперсний стан домішок у воді та встановив її приналежність до якоїсь групи, можна попередньо вибрати комплекс методів і стадій очищення води. При цьому фазово-дисперсний стан домішок повинен встановлюватися після кожної стадії обробки води та зараховуватися при проектуванні всієї схеми водопідготовки. Методи обробки води, визначені Л.А. Кульським на основі фазово-дисперсного аналізу домішок води, описані нижче (пропозиції Кульського доповнені А. Ашировим - V і VI групи). Частина перерахованих методів застосовується в спеціальних промислових системах і не застосовується в комунальному та енергетичному водопостачанні.

*Група I.* Вплив на суспензії (наприклад, седиментація, висвітління у зваженому шарі, осаджувальне центрифугування, відцентрова сепарація в гідроциклонах, флотація, фільтрування на повільних фільтрах і на швидких фільтрах за безнапірною схемою та ін.).

*Група II.* Вплив на колоїдні домішки, у тому числі високомолекулярні з'єднання та віруси: коагуляція, флокуляція, електрокоагуляція, електроіскровий (розрядний) метод, біохімічний розпад, адсорбція на високодисперсних матеріалах, у тому числі глинистих мінералах, іонітах, окислювання (хлорування, озонування), вплив ультрафіолетовим, - і - випромінюванням, потоками нейтронів і ін., ультразвукова обробка, обробка іонами важких металів (міді, срібла й ін.).

*Група III.* Вплив на розчинені органічні речовини та гази: десорбція газів і легколетучих органічних сполук шляхом аерації, термічного та вакуумного відгону, адсорбція на активних вугіллях, природних і синтетичних іонітах та інших високопористих матеріалах, екстракція неорганічними розчинниками, що змішуються з водою, евапорація (азеотропний відгін, пароциркуляція), пінна флотація, ректифікація, окислювання (жидкофазне, радіаційне, електрохімічне, біологічне, парофазне, хлором, озonom, диоксидом хлору та ін.).

*Група IV.* Вплив на домішки іоногенних неорганічних речовин: іонний обмін, електродіаліз, реагентна обробка, кристалізація.

*Група V.* Вплив на воду: дистиляція, виморожуванів, екстракція кристаллогидратами або органічними розчинниками, що змішуються з водою, магнітна обробка, зворотній осмос, напірна фільтрація.

*Група VI.* Вплив на водну систему в цілому: накачування в підземні обрії, у глибини морів, поховання, спалювання. Ці методи застосовуються тільки в тому випадку, якщо методи перших п'яти груп економічно неприйнятні.

*Таблиця 1.3 - Класифікація вод по фазово-дисперсному стану домішок*

Група	Домішки	Розмір часток, мкм	Характеристика домішок
<b>Гетерогенна система</b>			
<b>I</b>	<b>Зважені речовини</b>	$> 10^{-1}$	<b>Суспензії та емульсії, які обумовлюють каламутність води: мікроорганізми і планктон</b>
<b>II</b>	<b>Колоїдно-розчинні речовини</b>	$10^{-1} - 10^{-2}$	<b>Колоїди і високомолекулярні сполуки, які обумовлюють окислюваність та кольоровість води; віруси</b>
<b>Гомогенна система</b>			
<b>III</b>	<b>Молекулярно-розчинні речовини</b>	$10^{-2} - 10^{-3}$	<b>Гази, які розчиняються у воді, органічні речовини, які додають воді запах та присмак</b>
<b>IV</b>	<b>Речовини, які дисоціюють на іони (електроліти)</b>	$< 10^{-3}$	<b>Солі, кислоти, основанія, які додають воді жерсткість, лужність та мінералізацію</b>

В основу технології очищення води від домішок кожної групи покладені процеси, що протікають під впливом сил, що найбільш ефективно впливають на дану дисперсну систему. Так, для видалення суспензій, що є кінетично нестійкими системами, використовують гравітаційні та адгезійні сили, для видалення колоїдних і високомолекулярних речовин, агрегативно нестійких у водяних розчинах,- адгезійні та адсорбційні. Домішки, що перебувають у вигляді молекулярних розчинів, видаляють шляхом асоціації молекул під впливом сил міжмолекулярної взаємодії. І, нарешті, для видалення з води електролітів використовують сили хімічних зв'язків, характерні для іонних процесів.

Всі домішки, що забруднюють водойми, повністю охоплюються чотирма групами пропонованої класифікації. Використовуючи особливості, що характеризують кожну групу домішок, можна знаходити ефективні методи видалення всього комплексу домішок, що перебувають у воді.

У табл. 1.4 містяться методи очищення води залежно від її фазово - дисперсної характеристики.

Таблиця 1.4 - Класифікація домішок води та методи їх видалення

Фазова характеристика	Гетерогенні системи		Гомогенні системи	
група	I	II	III	IV
Фізико-хімічна характеристика	Грубодисперсні домішки: суспензії, емульсії, планктон, патогенні мікроорганізми	Домішки колоїдної ступені дисперсності: органічні та не органічні речовини, віруси, бактерії	Домішки молекулярної ступені дисперсності: гази, органічні речовини, солі, кислоти, луги, які не перейшли у іонне становище	Домішки іонної ступені дисперсності: солі, кислоти, луги
Поперечний розмір	$>10^{-1}$	$10^{-1}-10^{-2}$	$10^{-2}-10^{-3}$	$<10^{-3}$
Методи видалення домішок із води	Фільтрація (механічне видалення)	Ультрафільтрація	Зворотній осмос, нанофільтрація	
		Коагуляція	Перехід іонів у малорозчинні сполуки	
		Окислення хлором, озonom, перманганатом		
		Адсорбція на гідроксидах, дисперсних матеріалах	Адсорбція на активних углях та інших матеріалах	Вілучення методом іонного обміну
	Агрегація за допомогою флокулянтів (аніонних та катіонних)		Асоціація молекул	Комплексоутворення
	Флотация	Електро-форетичні методи	Екстракція органічними розчинниками	Сепарація іонів у різному фазовому стані води
	Електроліз синє-зелених водорослей			
	Бактерецидний вплив, біохімічний розпад			
Сили, що утримують домішки у воді	Гідродинамічні	Електростатичні	Вандерваальсові	Іонні сили розчинів

## **2. ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ ЗВАЖЕНИХ РЕЧОВИН**

Обробка води методом осадження дозволяє видалити з води більшу частину речовин, що знаходиться в ній у грубодисперсному або колоїдному стані, а також знизити залишкові величини твердості та бікарбонатної лужності за рахунок переводу їх у важкорозчинний осад.

Коливання концентрації вуглекислоти в природній воді навколо рівноважного стану приводить до розчинення або кристалізації двовалентних металів (в основному кальцію й магнію) у воді. Це коливання може відбуватися під впливом температури або тиску системи вода - домішки. У практиці експлуатації при обробці води порушення вуглекислотної рівноваги досягається уведенням у воду хімічних реагентів, наприклад розчину або суміші розчину із суспензією гідроксиду кальцію -  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

**Вуглекислотна рівновага.** Концентрація в природних водах недисоційованих молекул  $\text{H}_2\text{CO}_3$  становить звичайно лише частки відсотка від загальної кількості вільної вуглекислоти, під яким розуміють суму  $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2$ . Для поліпшення посвітління обробленим вапном води застосовуються коагулянти або флокулянти (спільно або роздільно)

Обробка води коагулянтном (залізним купоросом) збільшує кальцієву некарбонатну твердість води, для усунення якої потрібен додаткова витрата соди. При освітлінні вод з карбонатною твердістю  $< 2$  мг-екв/л як коагулянт використовується сірчаноокислий алюміній  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .

Залежно від якості вихідної води: концентрації грубодисперсних речовин ГДП, мг/л; окислюваності ОК,  $\text{mgO}_2/\text{л}$ , карбонатній твердості та твердості некарбонатної, мг-екв/л, концентрації зважених речовин, мг/л - вибирається один з нижчеперелічених технологічних процесів попередньої обробки з наступною фільтрацією через механічні фільтри Ф:

- коагуляція, К + Ф;
- коагуляція з вапнуванням (гідратний режим), К+Иг+Ф (бікарбонатний режим), К + Иб + Ф;
- коагуляція з вапнуванням і содуванням, К +Иг+С+Ф;
- коагуляція з вапнуванням і магнезіальним обескремнюванням, К + Иг + М + Ф; . коагуляція з вапнуванням і содуванням, фільтрація через Н-Катіонітовий фільтр, К + И + С + МН.

Залежно від необхідного ступеня знесолення води проектують одно-, двох- і триступінчасті установки обробки води.

*Примітка.* К - коагуляція, Иг - вапнування (гідратний режим), Иб - вапнування (бікарбонатний режим), С - содування, М - магнезіальне обескремнювання, Ф - механічна фільтрація, МН - фільтрація через Н-катіоніт.

## 2.1 Коагуляція

Коагуляція води в хімічних цехах теплових і атомних електростанцій призначена для її очищення від ГДП, колоїдних речовин, а також для знебарвлення. Коагуляція проводиться в просвітлювачі, у нижню частину якого в певній послідовності подають на обробку воду, коагулянт, флокулянт і інші реагенти. За час перебування води в просвітлювачі здійснюються всі хімічні реакції та осадження ГДП і КДП колоїдних домішок. Осад через шламоушільнювач виводиться у дренаж. Прояснена вода зі збірного короба подається для більш глибокого посвітління на механічні фільтри.

Доза коагулянту залежить в основному від якості вихідної води та визначається лабораторним шляхом для кожного джерела водопостачання, а також при сезонній зміні її якості. Звичайно доза коагулянту становить 0,5-1,5 мг-екв/л. Значення величини рН середовища при коагуляції впливає на швидкість і повноту гідролізу, зрушуючи протікання реакції в ту або іншу сторону. Точне значення рН для конкретного хімічного складу води встановлюється лабораторно, а в експлуатаційному режимі корегується введенням кислоти або лугу.

При високій лужності вихідної води необхідне значення рН досягається підвищенням дози коагулянту та введенням в оброблювану воду сірчаної кислоти, що нейтралізує еквівалентну кількість залишкової бікарбонатної лужності.

При низькій лужності вихідної води або при зниженні її в паводковий період передбачається підлужування вихідної води їдким натром.

Оптимальне значення рН при коагуляції із сірчаноокислим алюмінієм перебуває в інтервалі 5,5-7,5.

## 2.2 Коагуляція з вапнуванням

При вапнуванні досягається зниження лужності (і, як правило, зниження твердості та сухого залишку), видалення грубодисперсних домішок (ГДД), зниження змісту заліза, кремнекислоти та органічних сполук.

Вапнування проводиться в освітлювачі, куди подають воду та реагенти - вапно, коагулянт, по необхідності флокулянт. Домішки віддаляються з води в складі осаду, що виводять із освітлювача в дренаж або на зневоднювання із продувною водою. Вода після зневоднювання шламу вертається в освітлювач. Концентрація ГДД після освітлювача менш 10 мг/л. При необхідності більше глибокого посвітління води її подають на освітлювальні фільтри. Вапно дозують у вигляді суспензії (вапняного молока) або у вигляді розчину.

При вапнуванні протікає процес декарбонізації, тобто зниження бікарбонатної лужності оброблюваної води. Природна вода в основному містить бікарбонати  $\text{HCO}_3^-$ , що перебувають у рівновазі з вугільною кислотою ( $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2$ ) і карбонат-іонами  $\text{CO}_3^{2-}$ .



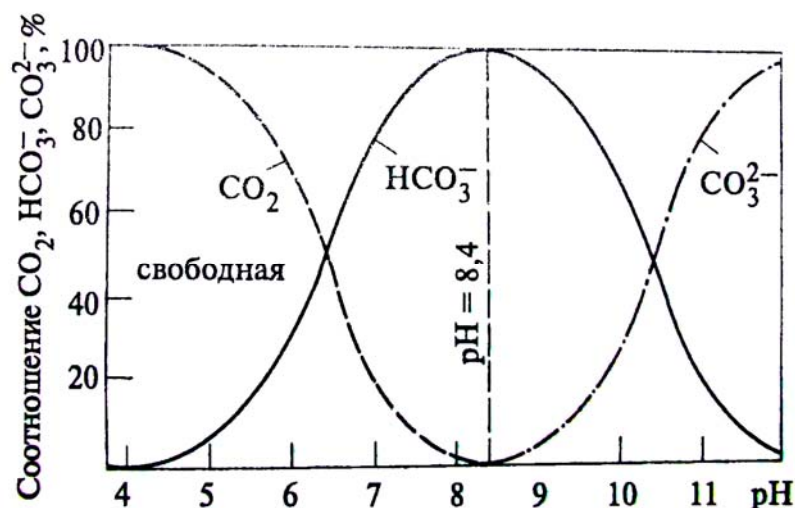


Рис. 2.1. – Графік відносин  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  залежно від  $\text{pH}$

Внаслідок підвищення концентрації  $\text{CO}_3^{2-}$  досягається межа розчинності  $\text{CaCO}_3$  (оцінюваний добутком розчинності  $\text{PR}_{\text{CaCO}_3}$ ) і відбувається виділення в осад іонів  $\text{CO}_3^{2-}$  і  $\text{Ca}^{2+}$  у вигляді  $\text{CaCO}_3$ .

### 2.3 Схеми та апарати

Для вапнування застосовуються просвітлювачі нормального ряду, розроблені ВКВ ВТИ. Технологічна схема вапнування представлена на рис. 2.2. Конструктивні схеми просвітлювачів показані на рис. 2.3 для апаратів продуктивністю до  $250 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Вихідна вода подається по системі *a* у воздухоотділювач, де звільняється від пухирців повітря. З воздухоотділювача по опускній трубі через тангенційно спрямоване уведення з регулюючим пристроєм *б* вода надходить у змішувач води та реагентів *в*. Туди ж по трубопроводу *г* надходить промивна вода просвітлювальних фільтрів. Вапняне молоко *д*, розчин коагулянту *е* та ПАА *ж* надходять у змішувач по радіально спрямованих трубопроводах. Вапняне молоко вводиться вище вихідної води, розчин коагулянту вводиться вище патрубка вапняного молока, а ПАА значно вище коагулянту - у верхню частину змішувальної камери.

Розміри змішувальної камери та швидкість руху води дозволяють завершити хімічну взаємодію реагентів з розчиненими у воді реагентами до виходу з камери.

При виході із зони змішування починається активне виділення продуктів хімічної взаємодії, формування центрів кристалізації, наростання на останніх пластівців важкорозчинюваних з'єднань (контактного середовища). Для попередження руйнування пластівців, що утворилися, обертовий рух води в міру її підйому гаситься вертикальними перегородками з і горизонтальної та з отворами 100-150 мм. Шламоприймальні вікна до визначають верхню границю зваженого шламу.

Швидкість потоку та обсяг освітлювача від змішувальної камери до верхньої крайки шламоприймальних вікон (зона контактного середовища)

розраховані на повне завершення процесів кристалізації та коагуляції в оброблюваній воді.

Шлам, що утворився в зоні контактного середовища, безупинно віддаляється разом з водою в шламоущільнювач через шламоприймальні вікна до або шламоприймальні труби.

Після зони контактного середовища основний потік проходить зону посвітління, де швидкість оброблюваної води знижується за рахунок дренажу її частини в шламоущільнювач.

Далі потік проясненої води проходить через розподільні ґрати та зливається через отвори в прийомну ринву, звідки вода надходить у розподільний пристрій, змішується із проясненою водою, що надходить зі шламоущільнювача, і по трубопроводу приділяється в бак вапнової води.

Шлам осідає в нижній частині шламоущільнювача та по трубопроводах віддаляється з нього при продувці. Прояснена в шламоущільнювачі вода збирається колектором і приділяється трубопроводом у розподільний пристрій.

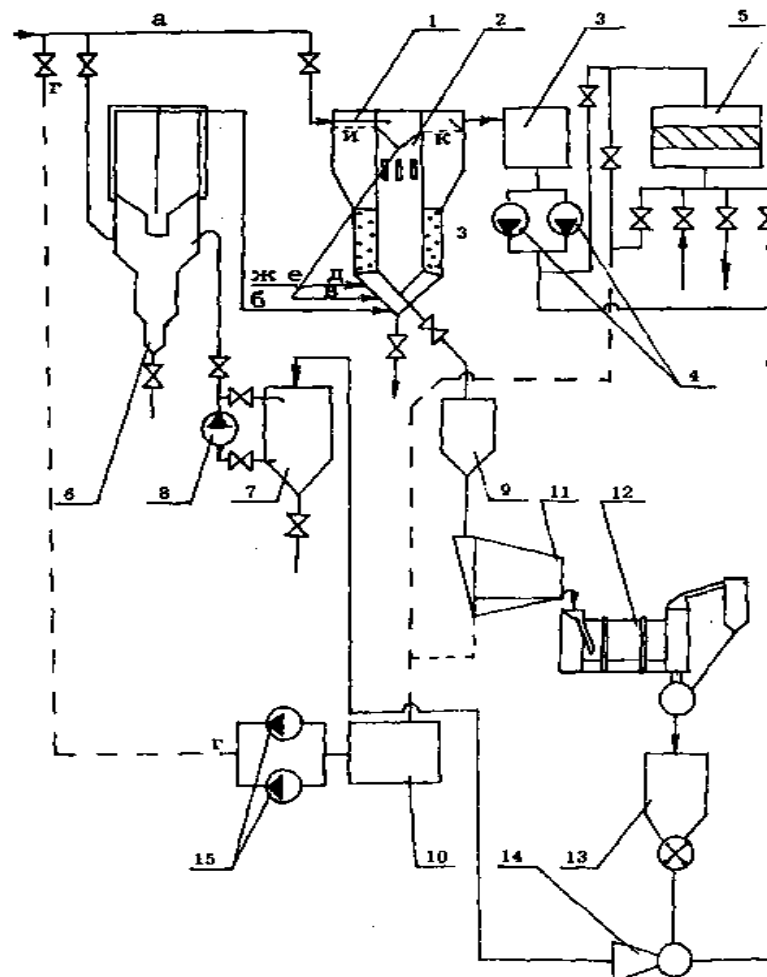


Рис. 2.2 – Схема обробки води вапнуванням: 1- освітлювач;  
2 - шламоущільнювач; 3 - бак вапнової води; 4 - насоси вапнової води;  
5 - просвітлювальний фільтр; 6- двокамерний сатуратор; 7 - мішалка  
для готування вапняного молока; 8 - насос вапняного молока; 9, 10 - ємності;  
11 - центрифуга; 12 - сушарка; 13- піч випалу шламу; 14- ежектор; 15- насоси  
фугату та відмивочної води просвітлювального фільтра

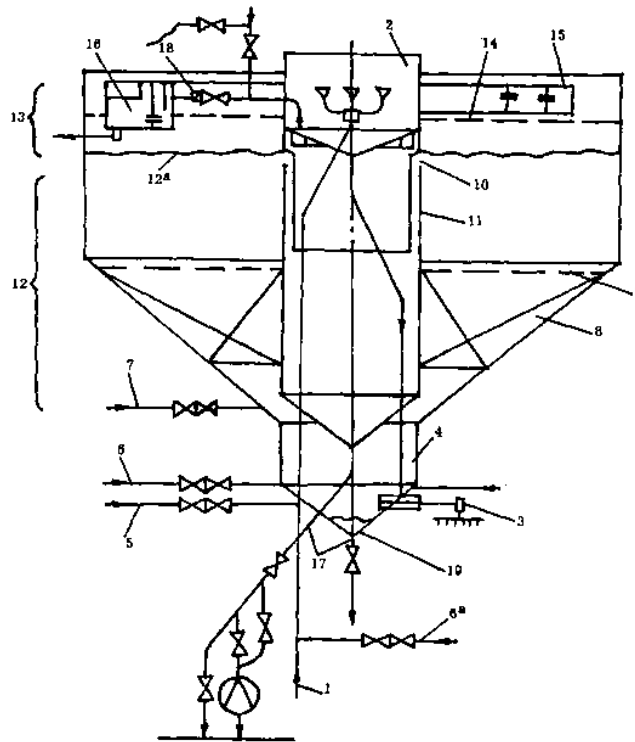


Рис. 2.3 – Схема освітлювача ВКВ ВТИ для вапнування води продуктивністю 100, 160, 250 м<sup>3</sup>/год: 1 - вихідна вода; 2 - воздуховідділювач; 3 - тангенціально спрямоване уведення; 4 - змішувач води та реагентів; 5 - підведення вапняного молока; 6, 6а - підведення розчину коагулянту; 7- підведення ПАА; 8 - вертикальні перегородки; 9 - горизонтальна перегородка з отворами; 10- шламо-приймальні вікна; 11 - шламоуцілювач; 12 - зона контактного середовища; 13 - зона посвітління; 14-розподільні ґрати; 15-ринва; 16-розподільний пристрій; 17- безперервна і періодична продувки; 18- дросельна заслінка, 19-грязевик

Поряд з вапном  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , для зниження концентрації грубодисперсних домішок вводиться коагулянт, що повинен забезпечувати глибоке видалення органічних забруднень, з'єднань заліза та нерекційноспособних з'єднань кремнію.

**Видалення грубодисперсних домішок.** Вода, що надходить на обробку в освітлювачах, може містити досить високі концентрації грубодисперсних домішок. Одним з переваг вапнування є те, що грубодисперсні домішки від природної води практично повністю затримуються в освітлювачі, а потім при продувці разом зі шламом, що утворився в самому освітлювачі, виводяться та в оброблену воду не надходять. Шлам складається в основному з мелкодисперсних часток  $\text{CaCO}_3$ .

Кількість шламу, виведеного з освітлювача, становить менше 10 мг/л, а при фільтрації проясненої води після освітлювача може скласти менш 2 мг/л. При значному концентруванні солей в оборотній воді концентрування грубодисперсних домішок більше, тому що з випаруваною водою грубодисперсні домішки, поглинені повітрям, не виносяться.

### 3. МЕТОДИ ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ І ЇХНІЙ ВИБІР

Процеси водопідготовки для потреб теплоенергетики в більшості випадків передбачають коректування сольового складу води. Підготовку води для видалення з її солей твердості ведуть методами зм'якшення, для видалення розчинених солей застосовують методи знесолення.

Зм'якшенням води називають процеси, що приводять до зниження концентрацій кальцієвих і магнієвих солей. У практиці водопідготовки найбільше поширення одержали наступні методи зм'якшення води:

1. Реагентні, при яких іони, що перебувають у воді  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  зв'язуються різними реагентами в практично нерозчинні та з'єднання, що видаляються легко, з наступним їхнім відділенням в освітлювачах, відстійниках і освітлювальних фільтрах;
2. Термічний, заснований на осадженні іонів кальцію та магнію у вигляді нерозчинних з'єднань, що утворюються в результаті нагрівання води до температури води вище  $100^{\circ}\text{C}$ ;
3. Іонообмінні, засновані на фільтруванні пом'якшеної води через спеціальні матеріали, що обмінюють вхідні в їхній состав іони  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{H}^{+}$  на іони  $\text{Ca}^{2+}$  або  $\text{Mg}^{2+}$ , що втримуються у воді.

Вибір того або іншого методу зниження солей твердості визначається якістю вихідної води, необхідною глибиною зм'якшення і техніко-економічних міркувань.

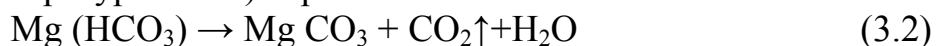
#### 3.1 Термічний метод зм'якшення води

Термічний метод зм'якшення води доцільно застосовувати при використанні карбонатних вод, що йдуть на живлення казанів низького тиску, а також у сполученні з реагентними методами зм'якшення води. Він заснований на зсуві вуглекислотної рівноваги при її нагріванні у бік утворення карбонату кальцію, що описується реакцією

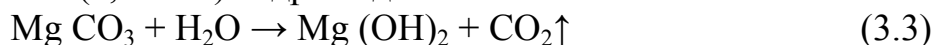


Рівновага зміщається за рахунок зниження розчинності оксиду вуглецю (IV), викликуваного підвищенням температури, Н тиску. Кип'ятінням можна повністю видалити оксид вуглецю (IV) і тим самим значно знизити карбонатну кальцієву твердість. Однак, повністю усунути зазначену твердість не вдається, оскільки карбонат кальцію хоч і незначно (13 мг/л при температурі  $18^{\circ}\text{C}$ ), але все-таки розчинний у воді.

При наявності у воді гідрокарбонату магнію процес його осадження відбувається в такий спосіб: спочатку утвориться порівняно добре розчинний (110 мг/л при температурі  $18^{\circ}\text{C}$ ) карбонат магнію



який при тривалому кип'ятінні гідролізується, у результаті чого випадає осад малорозчинного (8,4 мг/л) гідроксиду магнію

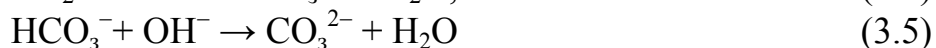
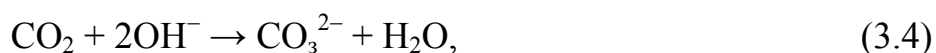


Отже, при кип'ятінні води твердість, що обумовлюється гідрокарбонатами кальцію і магнію, знижується. При кип'ятінні води знижується також твердість, обумовлена сульфатом кальцію, розчинність якого падає до 0,65 г/л.

### 3.2 Реагентні методи зм'якшення води

Зм'якшення води реагентними методами засновано на обробці її реагентами, що утворюють із кальцієм і магнієм малорозчинні з'єднання:  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  і інші з наступним їхнім відділенням в освітлювачах, тонкошарових відстійниках і освітлювальних фільтрах. Як реагенти використовують вапно, кальциновану соду, гідроксиди натрію і барію та інші речовини.

Зм'якшення води вапнуванням застосовують при її високій карбонатній і низькою некарбонатної твердості, а також у випадку, коли не потрібно видаляти з води солі некарбонатної твердості. Як реагент використовують вапно, що вводять у вигляді розчину або суспензії (молока) у попередньо підігріту оброблювану воду. Розчиняючись, вапно збагачує воду іонами  $\text{OH}^-$  і  $\text{Ca}^{2+}$ , що приводить до зв'язування розчиненого у воді вільного оксиду вуглецю (IV) з утворенням карбонатних іонів і переходу гідрокарбонатних іонів у карбонатні:



Підвищення в оброблюваній воді концентрації іонів  $\text{CO}_3^{2-}$  і присутність у ній іонів  $\text{Ca}^{2+}$  з обліком уведених з вапном приводить до підвищення добутку розчинності та осадженню малорозчинного карбонату кальцію:

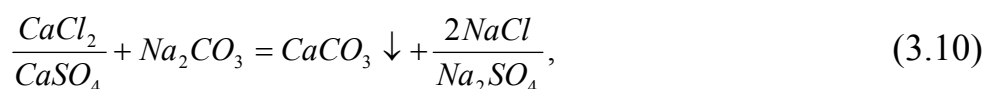
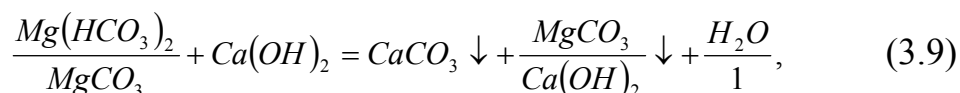
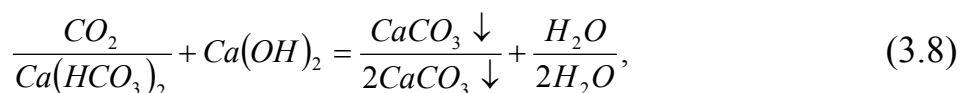


При надлишку вапна в осад випадає та гідроксид магнію



Для прискорення видалення дисперсних і колоїдних домішок зниження лужності води одночасно з вапнуванням застосовують коагуляцію цих домішок сульфатом заліза (II) тобто  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Залишкова жорсткість зм'якшеної води при декарбонізації може бути отримана на 0,4...0,8 мг-екв/л більше некарбонатної твердості, а лужність 0,8...1,2 мг-екв/л.

Вапняно-содовий метод зм'якшення води описується наступними основними реакціями:

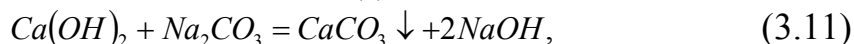


По цьому методі залишкова твердість може бути доведена до 0,5...1, а лужність із 7 до 0,8...1,2 мг-екв/л.

При вапняно-содовому методі зм'якшення води карбонат кальцію та гідроксид магнію, що утворюються, можуть пересичувати розчини і довго

залишатися в колоїдно-дисперсному стані. Їхній перехід у грубодисперсний шлам тривалий, особливо при низьких температурах і наявності у воді органічних домішок, які діють як захисні колоїди. При великій їхній кількості твердість води при реагентному зм'якшенні води може знижуватися всього на 15...20%. У подібних випадках перед зм'якшенням або в процесі його з води видаляють органічні домішки окислювачами та коагулянтами. При вапняно-содовому методі часто процес проводять у дві стадії. Спочатку з води видаляють органічні домішки і значну частину карбонатної твердості, використовуючи солі алюмінію або заліза з вапном, проводячи процес при оптимальних умовах коагуляції. Після цього вводять соду та іншу частину вапна і допом'якшують воду. При видаленні органічних домішок одночасно зі зм'якшенням води як коагулянти застосовують тільки солі заліза, оскільки при високому значенні рН води, необхідному для видалення магнієвої твердості, солі алюмінію не утворюють сорбційно-активного гідроксида.

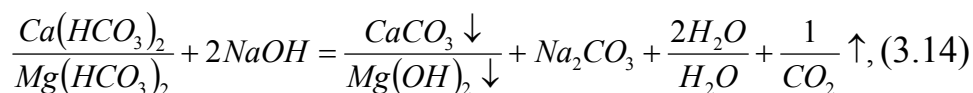
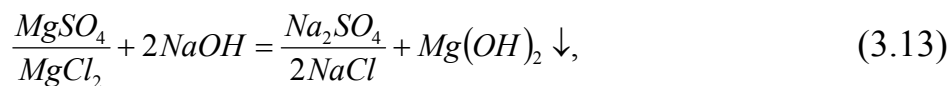
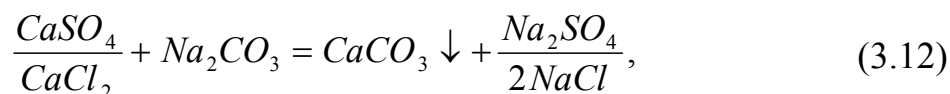
При вапняно-содовому методі також не рекомендується застосовувати більші залишки вапна, однак, у цьому випадку вони не викликають збільшення залишкової твердості, оскільки знімаються содою



але надлишок вапна приводить до нераціональній витраті соди, підвищенню вартості зм'якшення води та підвищенню гідратної лужності. Тому надлишок соди приймають близько 1 мг-екв/л. твердість води в результаті контакту з раніше, що випав осадом, знижується на 0,3...0,5 мг-екв/л у порівнянні із процесом без контакту з осадом.

Контроль процесу зм'якшення води треба виконати корекцією рН зм'якшеної води. Коли це неможливо, її контролюють за значенням гідратної лужності, що при декарбонізації підтримують у межах 0,1...0,2 мг-екв/л, при вапняно-содовому зм'якшенні – 0,3...0,5 мг-екв/л.

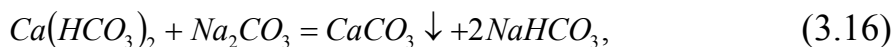
При содово-натрієвому методі зм'якшення води її обробляють содою та гідроксидом натрію:



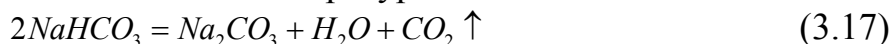
Через те, що сода утворюється при реакції гідроксида натрію з гідрокарбонатом, необхідна для добавки у воду доза її значно зменшується.

Содово-натрієвий метод звичайно застосовують для зм'якшення води, карбонатна твердість якої трохи більше некарбонатної. Якщо карбонатна твердість приблизно дорівнює некарбонатній, соду можна зовсім не додавати, оскільки необхідна її кількість для зм'якшення такої води утворюється в

результаті взаємодії гідрокарбонатів з їдким натром. Доза кальцинованої соди збільшується в міру підвищення некарбонатної твердості води. Содорегенеративний метод, заснований на поновленні соди в процесі зм'якшення, застосовують при підготовці води, для живлення парових казанів низького тиску



Гідрокарбонат натрію, потрапляючи в казан зі зм'якшеною водою, розкладається під впливом високої температури

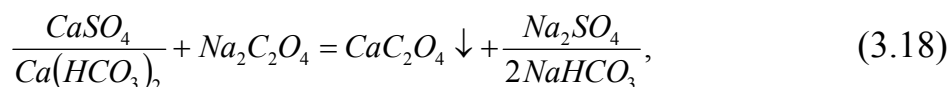


сода, що утворюється при цьому, разом з надлишковою, яку уведено спочатку у водопом'якшувач, відразу в казані гідролізується з утворенням гідроксида натрію та оксиду вуглецю (IV), що із продувною водою надходить у водопом'якшувач, де використовується для видалення з пом'якшеної води гідрокарбонатів кальція та магнію. Недолік цього методу полягає в тому, що утворення значної кількості  $CO_2$  у процесі зм'якшення викликає корозію металу і підвищення сухого залишку в котловій воді.

*Барієвий метод зм'якшення води* застосовують у сполученні з іншими методами. Спочатку вводять барієвімістні реагенти у воду ( $Ba(OH)_2$ ,  $BaCO_3$ ,  $BaAl_2O_4$ ) для усунення сульфатної твердості, потім після посвітління води її обробляють вапном і содою для доум'якшення.

Через високу вартість реагентів барієвий метод застосовують дуже рідко. Для підготовки питної води через токсичність барієвих реагентів він непридатний. Сульфат барію, що утворюється, осаджується дуже повільно, тому необхідні відстійники або освітлювачі більших розмірів. Для введення  $BaCO_3$  варто використовувати флокулятори з механічними мішалками, оскільки  $BaCO_3$  утворить важку, що швидко осаджується суспензію.

*Оксалатний метод зм'якшення води* заснований на застосуванні оксалату натрію та на малій розчинності у воді оксалату кальцію, що утворюється, (6,8 мг/л при 18 °C)

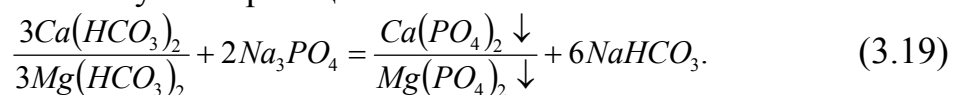


Метод відрізняється простотою технологічного та апаратурного оформлення, однак через високу вартість реагенту його застосовують для зм'якшення невеликих кількостей води.

*Фосфатування застосовують для доум'ягчення води.* Після реагентного зм'якшення вапняно-содовим методом неминуча наявність залишкової твердості (близько 2 мг-екв/л), що фосфатним доум'ягченням можна знизити до 0,02–0,03 мг-екв/л. Таке глибоке доочищення дозволяє в деяких випадках не прибігати до катіонітового пом'ягшення.

Фосфатуванням досягається також більша стабільність води, зниження її корозійної дії на металеві трубопроводи та попередження відкладення карбонатів на внутрішній поверхні стінок труб. Як фосфатні реагенти використовують гексаметафосфат, триполифосфат (ортофосфат) натрію та ін. Фосфатний метод зм'якшення води при використанні тринатрийфосфата є

найбільш ефективним реагентним методом. Хімізм процесу зм'якшення води тринатрійфосфатом описується реакціями



Як видно з наведених реакцій, сутність методу полягає в утворенні кальцієвих і магнієвих солей фосфорної кислоти, які мають малу розчинність у воді і тому досить повно випадають в осад.

Фосфатне зм'якшення звичайно здійснюють при підігріві води до 105...150°C, досягаючи її зм'якшення до 0,02...0,03 мг-екв/л. Через високу вартість тринатрійфосфата фосфатний метод звичайно використовується для доумягшення води, попередньо зм'якшеною вапном і содою. Доза безводного тринатрійфосфата ( $D_f$ , мг/л) для доз'ягшення може бути визначена з виразу

$$D_f = 54,67 (J_{ост} + 0,18), \quad (3.20)$$

де  $J_{ост}$  – залишкова твердість зм'якшеної води перед фосфатним допом'ягченням, мг-екв/л. Осадки, що утворюються при фосфатному зм'якшенні,  $Ca_3(PO_4)_2$  і  $Mg_3(PO_4)_2$  добре адсорбують зі зм'якшеної води органічні колоїди і кремнієву кислоту, що дозволяє виявити доцільність застосування цього методу для підготовки живильної води для казанів середнього та високого тиску (58,8...98,0 Мпа).

Розчин для позування гексаметафосфата або ортофосфата натрію з концентрацією 0,5 - 3% готують у баках, кількість яких повинне бути не менш двох. Внутрішні поверхні стінок і дна баків повинні бути покриті коррозійно-витривалим матеріалом. Час готування 3%-ного розчину становить 3 год при обов'язковому перемішуванні мішалочним або барботажним (за допомогою стисненого повітря) способом.

#### **Установка для реагентного зм'якшення води з вихровими реакторами**

Вихровий реактор являє собою резервуар у вигляді конуса з верхньою циліндричною частиною (рис. 3.1). На відміну від вихрової камери хлоп'єутворювання він має невеликий кут конусності (15 – 20° С) і приблизно наполовину своєї висоти заповнений так званою, контактною масою, тобто дрібним кварцовим піском або мармуровою крихтою діаметром 0,2 -0,3 мм, що перебувають у зваженому стані в час роботи реактора. Зміст контактної маси повинен становити 10 кг на 1 м<sup>3</sup> обсягу реактора.

Необхідне для реагентного зм'якшення води вапно у вигляді розчину або вапняного молока вводиться в нижню частину реактора. Зерна контактної маси служать центрами кристалізації карбонату кальцію, що виходить при зм'якшенні води, і поступово обволікаються  $CaCO_3$ , збільшуючись у діаметрі до 1,5 – 2 мм. Установка з вихровими реакторами доцільна тільки при мутності вихідної води не вище 8 – 12 мг/л і при зміні магнію не більше 15 мг/л. Реактори застосовують для зм'якшення підземних або поверхневих вод післяосвітлення їх, тому коагулянт не додається.

У більшості випадків, тобто коли зміст магнію у вихідній воді не перевищує 15 мг/л, до складу установки входить пристрій для підготовки та дозування реагентів.



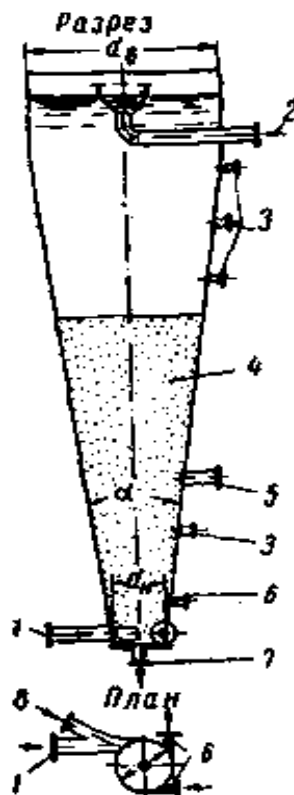


Рис 3.1 – Вихровий реактор: 1- подача води; 2 - відвід води; 3 -штуцери для відбору проб; 4 - завантаження; 5- випуск надлишку завантаження; 6 - уведення вапна; 7 - скид; 8 - промивна вода від напірної лінії

Не виключається можливість застосування вихрових реакторів і при змісті у вихідній воді магнію більше 15 мг/л, однак у таких умовах схема установки повинна бути доповнена просвітлювачем, що розміщається між вихровим реактором і фільтром. Просвітлювач потрібний для виділення гідроксида магнію.

### 3.3 Катіоніти, аніоніти і їхні властивості

Іоннообмінні синтетичні смоли широко використовуються у різних галузях діяльності людини. Більша частина вироблених на сьогоднішній день іонітів застосовується у різноманітних технологічних процесах (технологія неорганічних і органічних речовин, очищення стічних вод і газових середовищ, підготовка води в різних технологічних процесах, каталіз, радіохімія, медицина та біологія). Також іоніти знайшли застосування і у невеликих побутових системах для доочищення питної води.

Іонообмінними смолами називаються штучні органічні високомолекулярні з'єднання, що володіють іонообмінними властивостями. Існує кілька типів класифікації іонообмінних смол.

1. По «пористості» можна розділити на **гелєві (непористі)** і **макропористі**. У **гелєвих** іонітах пори, як такі, відсутні. Доступність іонообмінних груп забезпечується набряканням іоніту, у результаті чого в матеріалі утвориться пористість. **Макропористі** іоніти одержують введенням у масу пороутворювача – інертного розчинника в процесі синтезу (наприклад, вищих вуглеводнів і спиртів). Частина розчинника затримується в матриці та після його видалення із

гранул виходять смоли з розвинутою внутрішньою поверхнею в ненабряклому стані і більшому обсязі пор. Макропористі іоніти мало набухають, але завдяки розвиненій пористій поверхні, дуже активні в обмінних процесах. Питома поверхня таких іонітів становить від 20 до 130 м<sup>2</sup>/м. Діаметр пор макропористих іонітів варіює від 200 до 1000 А.

2. По природі протіоіона ( $H^+$  – кислотна форма,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  – сольова форма,  $OH^-$  – гідроксильна форма).

3. Більшість виробників дотримуються класифікації за знаком заряду протіоіона. Наприклад:

- Катіоніти - полімери, здатні поглинати з розчинів електролітів позитивно заряджені іони (катіони) і обмінювати їх в еквівалентних кількостях на інші катіони.
- Аніоніти - полімери, здатні поглинати з розчинів електролітів негативно заряджені іони (аніони) і обмінювати їх в еквівалентних кількостях на інші аніони.

Катіоніти проявляють властивості полікислот, а аніоніти - полілуг. Також виділяють групу смол під загальною назвою **амфотерні іоніти** або **поліамфоліти**. Вони містять рухливі кислотні та основні групи і залежно від умов можуть проявляти себе як катіоніти або аніоніти.

Іоніт складається з **матриці (каркаса)** – високомолекулярна, практично нерозчинна у воді або інших розчинниках частина іонообмінного матеріалу, що володіє певним зарядом (у катіонітів – негативний, в аніонітів – позитивний). З матрицею зв'язані рухливі іони – **протіоіони**. Протіоіони мають заряд, протилежний заряду іоногенної групи матриці. У цілому зерно іонообмінного матеріалу нейтрально. Протіоіони рухливі та здатні обмінюватися на іони того ж знака. Для наочності іоніт можна зрівняти з губкою, у порах якої циркулюють протіоіони. Якщо занурити губку в розчин, протіоіони перемістяться в розчин, а їхнє місце займуть іони того ж знака з розчину, щоб зберегти електронейтральність зерна.

Якщо іоніт, що містить тільки протіоіони одного типу (на малюнку 1 вони зображені синім кольором), помістити в розчин із протіоіонами іншого типу (на рис. 3.2 вони зображені червоним кольором), то іони першого типу почнуть заміщатися на іони другого типу.

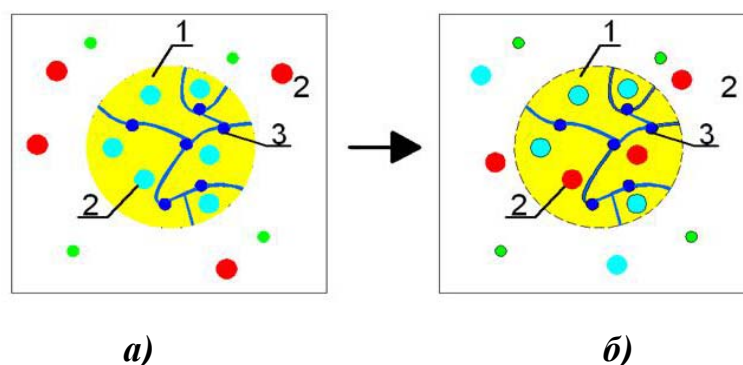


Рис.3.2 – схема іонного обміну між іонітом і розчином

а – початковий стан; б – іонообмінна рівновага; 1 – матриця з фіксованими іонами; 2 – протіоіони; 3 – коіони.

Цей процес буде тривати так тих пір, поки не встановиться рівновага: іоніт і розчин будуть містити іони двох видів у певному співвідношенні. Такий стан прийнятий називати іонообмінною рівновагою. Крім протівіонів в іоніт надходить розчинник з розчиненими в ньому іонами – **коіонами**. Коіони - іони, що володіють тим же зарядом, що і матриця іоніту.

### ***Катіоніти***

Катіоніти являють собою високомолекулярні тверді нерозчинні полікислоти, що містять кислотні групи: сульфогрупи, карбоксильні, фосфиновокислі, селеновокислі та ін. Вони дисоціюють у воді на малорухомий макроаніон (матриця) і рухливі катіони:

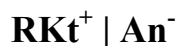


Катіоніти, у яких всі рухливі іони представлені іонами водню, позначаються як Н-катіоніти або Н-форма катіоніта. У тих випадках, коли замість водню рухливі іони представлені катіонами металів ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  і ін.), застосовується відповідне позначення сольової форми Na- або Ca-Катіоніт або Na- або Ca-Форма катіоніта.

Катіоніти можна розділити на *сильнокислотні* та *слабокислотні*. *Сильнокислотні* катіоніти здатні обмінювати протівіони на зовнішні іони в лужному, нейтральному та кислому середовищах. *Слабокислотні* катіоніти обмінюють протівіони на інші катіони тільки в лужному середовищі. До *сильнокислотних* відносять катіоніти із сильно дисоційованими кислотними групами – сульфокислотними. До *слабокислотних* відносять катіоніти зі слабо дисоційованими кислотними групами – карбоксильними.

### ***Аніоніти***

Синтетичні аніоніти містять у макромолекулі функціональні групи основного характеру і являють собою тверді полімерні основи. Аніоніти диссоціюють у воді на малорухомий макрокатион (матриця) і рухливі аніони:



Слабоосновні аніоніти мають у своєму складі первинні, вторинні, третинні і четвертинні аміногрупи, сильноосновні аніоніти містять четвертинні аміногрупи. Сильноосновні аніоніти обмінюють протівіони в лужному, нейтральному та кислому середовищах, а слабоосновні – тільки в кислому середовищі. Як ми вже відзначали, аніоніти можуть поставлятися в гідроксильній ( $\text{OH}^-$ ) або сольовій ( $\text{Cl}^-$ ) формі. При тривалому зберіганні аніонітів у гідроксильній формі їхня обмінна ємність може знижуватися, що, швидше за все, пов'язане з окислюванням цих полімерів. У результаті цього число вільних основних груп зменшується. Тому зберігати смоли рекомендується в сольовій формі та у зволоженому стані.

## **3.3.1 Фізико-хімічні властивості іонітів**

### ***Обмінна ємність***

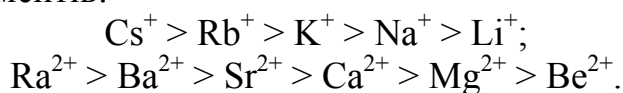
Обмінна ємність – один з найбільш важливих показників властивостей іонітів. Вона визначається числом функціональних груп, здатних до іонного

обміну. Вимірюється в одиницях маси повітряно-сухого або в одиниці об'єму набряклого іоніту і відповідно виражається в мг-екв/г або мг-екв/см<sup>3</sup>. Як правило, російські та закордонні виробники смол частіше вказують обмінну ємність в одиниці об'єму набряклого іоніту (мг-екв/см<sup>3</sup>).

Розрізняють *повну* і *рівноважну* обмінну ємність. Повна обмінна ємність (ПОЕ) відповідає загальній кількості функціональних груп в одиниці об'єму вологого або одиниці маси сухого іоніту. ПОЕ величина постійна для даного зразка. Оскільки іонний процес - процес рівноважний, то вводиться поняття «рівноважна об'ємна ємність» (РОЕ). РОЕ залежить від ряду умов протікання процесу: рН середовища, температури, концентрації розчинів, технологічних умов протікання процесу (швидкість подачі розчину, площа фільтрування, ін.). Таким чином, рівноважна обмінна ємність величина змінна, залежна від різних умов.

### **Селективність**

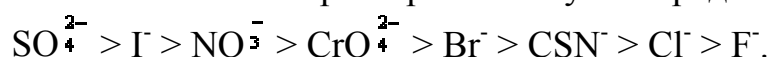
Селективністю називається здатність вибірково поглинати з розчину деякі іони або групи іонів. При катіонному обміні на слабозшитому (до 8 - 10 % ДВБ) сульфокатіоніті з розведених розчинів, у яких немає реакцій комплексоутворення, має місце наступний ряд селективності для лужних і щелочноземельних елементів:



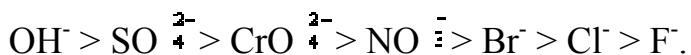
Спорідненість іонів лужних і щелочноземельних металів до слабозшитому сульфокатіоніту зменшується в ряді в повній відповідності зі зменшенням їхнього порядкового номера та розміру іона і зі збільшенням радіуса гидратованного іона.

Зі збільшенням кількості зшиваючих агентів у монофункціональних сульфокатіонітах і зміни природи функціональних груп (наприклад, з - SO<sub>3</sub>H на - COOH) приводить до повного оберту рядів селективності.

Для сильноосновних аніонітів характерний наступний ряд селективності:



Слабоосновні аніоніти проявляють підвищену вибірковість до гідроксил-іону (OH<sup>-</sup>), інші іони легко їм витісняються. Ряд селективності має вигляд:



### **Осмотична стабільність**

Іоніти здатні до набрякання у воді та органічних розчинниках, при цьому проявляється дія осмотичних сил на зерно іоніту. Ступінь набрякання іоніту у воді залежить від властивостей іоніту і склада розчину та значень рН розчину. При збільшенні ступеня набрякання зерен їхній розмір збільшується, при зменшенні ступеня набрякання - зерно зменшується. Цей процес називають «подихом» іоніту. Циклічні процеси розтягування та стиску зерна приводять до розриву ланцюгів матриці і розтріскуванню гранул іоніту. Особливо гостро коштує питання про механічну міцність аніонітів, тому що їхня вартість вище, а термін служби менше, ніж у катіонітів. Повністю виключити вплив осмотичних сил на зерно іоніту неможливо, але, завдяки деяким мірам, можна знизити. Не

можна допускати висихання іоніту, що поставляється у вологому стані (як правило, масова частка вологи становить 40 - 65%). Сухі-повітряно-сухі іоніти щоб уникнути осмотичного удару попередньо замочується в концентрованому розчині хлориду натрію.

### ***Механічна міцність***

Осмотична стійкість і механічна міцність іоніту залежить від будови матриці іоніту, форми зерна, температури, властивостей середовища та інших факторів. Руйнування зерна іоніту відбувається в результаті недостатньої осмотичної стабільності, при терті гранул друг об друга, об стінки апаратури, а також при зіткненні з потоками, що рухаються, середовища. Перепад тиску в іонообмінних колонах також може стати причиною розтріскування або повного руйнування гранул іоніту. У вітчизняній літературі для оцінки механічної міцності іонообмінних матеріалів використовують два поняття: *стиранність* – зношування матеріалу внаслідок тертя зерен друг об друга при промиваннях (граничне значення – 0,5 %) і *подрібнюваність* – зношування в результаті розтріскування зерен (до 4 %). Смоли імпортного виробництва характеризуються показником «*cracked*» - процентне співвідношення цілих і тріснутих гранул, і показником «*broken*» - процентне співвідношення цілих і повністю зруйнованих гранул.

### ***Гранулометричний склад***

Швидкість усього іонообмінного процесу визначається стадією, що лімітує. Для процесів, що протікають у водному середовищі, це швидкість іонообміну між іонами води та омиваною часткою смоли. На зовнішній поверхні омиваної частки утвориться нерухлива водяна плівка, товщина якої залежить від швидкості потоку та розмірів зерна смоли. Іон, що прагне потрапити усередину частки смоли, у функціональну групу, повинен дифундувати з води через плівку, пройти через граничну поверхню частки усередину смоли. У чистих смол дифузійні шляхи не забруднені сторонніми домішками і доступ до поверхні зерна не заблокований. Зі збільшенням швидкості потоку зменшується товщина водяної плівки, що полегшує проходження іонів до поверхні зерна. Підвищення температури води веде до зменшення її в'язкості, що сприяє збільшенню швидкості дифузії та збільшенню кінетики іонного обміну. Іншим важливим фактором є співвідношення між обсягу частки до її поверхні. Зі зменшенням діаметра зерна на кожен функціональну групу доводиться більша поверхня обміну.

Існує оптимальне співвідношення між розміром гранул і товщиною шару матеріалу, що засипається в іонообмінні фільтри. Дрібнозернистий іоніт, володіючи більше розвитою поверхнею, має трохи більшу іонообмінну ємність, чим велико-зернистий. Однак, зі зменшенням зерен катіоніту гідравлічний опір і витрата електроенергії на фільтрування води збільшуються. Виходячи з вищесказаного, найбільше поширення одержали смоли з розміром зерна 0,3 - 1,5 мм. У технологіях іонування із протилежними по напрямку потоками оброблюваної води та розчину, що регенерує, велике значення має однорідність гранул (монодисперсність). Ступінь однорідності розмірів зерен істотно

впливає на процес іонного обміну. При промиванні винос дрібної фракції почнеться набагато раніше, ніж прийдуть у рух більші частки. Якщо знизити швидкість промивання для запобігання виносу дрібної фракції, великі частки будуть промиті недостатньо.

Основні параметри, що характеризують фракційний состав іонообмінного матеріалу, визначаються ситовим аналізом. Навіщення матеріалу просівається через ряд каліброваних сит, залишки на ситах зважуються, і визначається процентне співвідношення між різними фракціями. На основі отриманих результатів вираховується *еквівалентний діаметр зерен  $d_e$  (ефективний розмір), мм*.

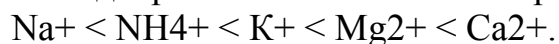
### **3.4 Зм'якшення іонним обміном**

Зм'якшення води по методу іонного обміну засновано на властивості катіонітів обмінювати катіони, якими попередньо «заряджені» його активні групи, на катіони, що втримуються в умягчаемой воді, кальцію і магнію. У результаті реакції катіоніт віддає у воду замість поглинених обмінні катіони. Залежно від того, яким обмінним іоном «заряджений» катіоніт: натрієм, воднем або амонієм – розрізняють процеси  $\text{Na-}$ ,  $\text{H-}$  і  $\text{NH}_4-$  катіонування.

Процес обміну іонів між катіонітами і розчином, що містить солі твердості, залежить від багатьох факторів. Головними з них є властивості катіонітів, состав вихідної води та умови процесу, що відбувається. Всі ці фактори тісно зв'язані між собою та насамперед визначають швидкість проходження іонообмінних реакцій. Реакція обміну між катіонітом і іонами вихідної води, що є розчином солей, обумовлюється дифузією іонів з розчину усередину катіоніта та з катіоніта у вихідну воду. Процес управляється законами дифузії і дії мас. При зм'якшенні води, що містить іони кальцію та магнію,  $\text{Na-}$  катіонуванням кальцій і магній будуть дифундувати в катіоніт; у свою чергу натрій з катіоніту дифундує у воду. У результаті обмінної реакції кальцій і магній займуть місце витиснутого натрію в катіоніті, а натрій займе місце магнію і кальцію в зм'якшеній воді. Обмін іонів між катіонітом і розчинами (водою) відбувається еквівалентно: з катіоніту іони  $\text{Na}^+$  витискаються в кількості, еквівалентній кількості іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ , що поглинаються з розчину. Обмін іонів є не тільки еквівалентним, але й оборотним процесом.

Оборотність обміну іонів полягає в тім, що швидкість обміну іона, витиснутого з катіоніта, і іона, поглиненого з розчину, за умови рівноваги практично дорівнює. Еквівалентність і оборотність обміну іонів порушуються в тому випадку, якщо поряд з обміном іонів у воді протікають інші реакції, наприклад окислювально-відновні, фізична сорбція молекул і ін. При веденні процесу  $\text{Na-}$  катіонування (як і інших процесів) для практичних цілей головним завданням є максимальне використання іонообмінної здатності (ємності) катіоніту, тому що від її й ступеня іонізації активних груп катіоніту залежить ефективність застосування іонообмінного процесу. Великий вплив на обмінну здатність катіоніту робить природа катіонів, що поглинаються. Будь-який катіон може поглинатися катіонітом повністю, однак величина робочої ємності

поглинання при цьому буде залежати від того, який саме катіон поглинається. Інтенсивність поглинання підкоряється певної закономірності:

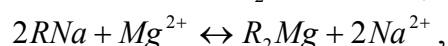
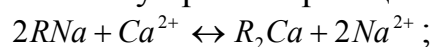


Тут кожний наступний катіон поглинається катіонітом більш інтенсивно, ніж попередній. У якості катіонітів у цей час застосовуються тільки штучно одержувані матеріали. Із числа практично використовуваних катіонітів у першу чергу варто вказати сульфоуголь – поліфункціональний катіоніт, що виходить сульфуванням (обробка концентрованою сірчаною кислотою при високій температурі) природних коксівних плавких кам'яних вугіль. По зовнішньому вигляді сульфоуголь – чорний зернистий матеріал, що складається із гранул неправильної форми розміром від 0,25 до 1,2 мм. Обмінна здатність сульфоугля становить від 200 до 300 мг-екв/л залежно від умов застосування. Сульфоуголь застосовується для  $\text{Na}^+$ -,  $\text{H}^+$ - і  $\text{NH}_4^+$ - катіонування. Завдяки доступності та дешевині сульфоуголь одержав широке поширення в теплоенергетиці для водопідготовки.

Крім сульфоугля в цей час широко застосовують синтетичні іонообмінні смоли (іоніти, що представляють собою високомолекулярні з'єднання, які складаються з молекул-гігантів з величезною молекулярною масою. Іоніт – тверда, практично нерозчинна у воді речовина, механічно міцна та хімічно стійка. Іонообмінна здатність синтетичних іонітів, так само як і природних, обумовлюється активними групами, закріпленими на каркасі високомолекулярних з'єднань, розташованих в обсязі частки (зерна). Таким чином, усякий іоніт – це нерозчинний негативний або позитивний полівалентний іон, оточений рухливими іонами протилежного знака. Із синтетичних катіонітов найбільш широке поширення у водоочищенні одержали КБ-4, КУ-1, КУ-2-8. Вони володіють у кілька разів більшою обмінною здатністю, чим сульфоуголь. Наприклад, обмінна здатність КУ-2-8 при  $\text{Na}$ -катіонуванні становить 800–900 мг-екв/л. Іонообмінні процеси, здійснювані на катіонітах, засновані на типових реакціях катіонного обміну:

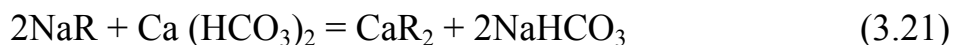
Катіонітовий спосіб пом'якшення води полягає у фільтруванні твердої води через дрібнозернисту загрузку деяких речовин (сульфоуголь, штучні смоли). Ці речовини мають здатність обмінювати катіони натрію, що втримується в них,  $\text{Na}^+$  або водню  $\text{H}^+$  на катіони кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  або  $\text{Mg}^{2+}$  солей твердості, розчинених у воді. Таким чином, розрізняють процес  $\text{Na}$ -катіонування та  $\text{H}$ -катіонування.

При фільтруванні твердої води через шар катіоніту в результаті іонного обміну  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  і інші катіони, що знаходяться у воді, поглинаються катіонітом, а замість них у розчин переходять іони  $\text{Na}^+$ , що раніше втримувалися у катіоніті. На поверхні зерен катіоніту протікає реакція обміну іонів:



де R-Матриця з фіксованими зарядами без обмінного іона, що вважається одновалентною [6].

**Обробка води методом натрій-катіонування** полягає у фільтруванні води через шар катіоніту, що містить як обмінні іони катіони натрію. Катіоніти поглинають із води іони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ , що обумовлюють її твердість, а у воду переходять із катіоніту еквівалентна кількість іонів натрію ( $\text{Na}^+$ ) по наступних реакціях:



де R - складний комплекс катіоніту (або його «нерухливий аніон»), практично не розчинний у воді.

При натрій-катіонуванні величина лужності зм'якшеної води не змінюється, а сухий залишок води трохи зростає, що є недоліком цього процесу. Не змінюється також і аніонний состав води, тобто зміст  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$  і інші. Здійснюється лише переклад важко розчинних кальцієвих і магнієвих солей у легкокорозинні натрієві, нездатні до утворення накипів.

Реакції іонного обміну оборотні, тому при високій концентрації іонів  $\text{Na}^+$  у розчині, що стикається з катіонітом, що містить іони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  реакція ланцюга у зворотному напрямку (праворуч ліворуч). Цей процес використовується для регенерації виснаженого катіоніту шляхом витиснення з нього раніше поглинутих іонів кальцію та магнію концентрованим розчином повареної солі ( $\text{NaCl}$ ).



Оптимальна концентрація розчину солі при регенерації катіоніту становить 6-8%. Оптимальна швидкість фільтрування регенераційного розчину становить 4-6 м/г (при високому шарі катіоніта 1,5-2,0 м.).

### 3.4.1 Водень-катіонування води

Водень- катіонування застосовується або в схемах знесолення води, або в сполученні з натрій-катіонуванням. Принципова схема цього методу обробки води наведена на рис. 3.3. Як і в попередніх методах водень-катіонування може бути одне- або двоступінчастим. Головна відмінність цього методу - наявність вільних кислот у фільтраті та кислотне (замість сольового) господарство для регенерації фільтра. Кисла реакція води вимагає особливого виконання цих фільтрів.



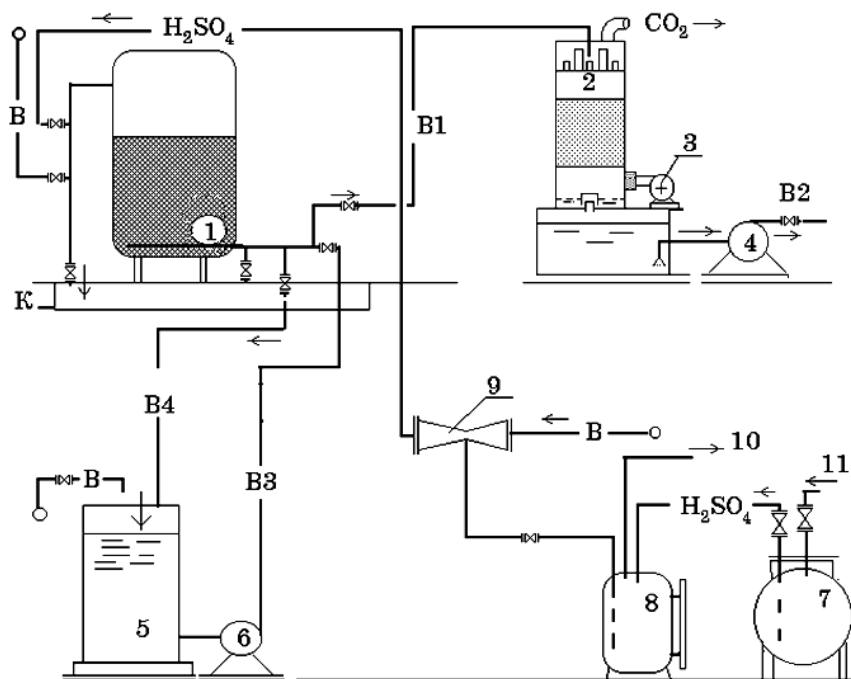


Рис. 3.3 – Схема установки зм'якшення води водень-катіонування: 1 - водень-катіонітовий фільтр; 2 - дегазатор; 3 - вентилятор; 4 - насос перекачування очищеної води; 5 - бак води для розпушення; 6 - насос подачі води на розпушення фільтра; 7 - бак зберігання кислоти; 8 - бак-мірник кислоти; 9 - ежектор; 10 - лінія відкачки повітря вакуум-насосом; 11 - злив кислоти від транспортних засобів; В - водопровід; В1 - зм'якшена вода; В2 - хімічно очищена вода; В3 - вода на розпушення фільтра; В4 - збір отмивочної води; К - стічні води

При цьому способі катіонування води утворюється вільна вуглекислота  $H_2CO_3$ , що розпадається на газ  $CO_2$  і воду. Для зниження кислотності двоокис вуглецю видаляють у дегазаторах, установлюваних після фільтрів по ходу руху води. Зміст вільного двоокису вуглецю, мг/л, у подаваній на дегазатор воді визначається по формулі:

$$(CO_2)_{св} = (CO_2)_{исх} + 44 \text{ Щ}_{исх}, \quad (3.27)$$

де  $(CO_2)_{исх}$ ,  $\text{Щ}_{исх}$  - зміст у вихідній воді вільного двоокису вуглецю, мг/л і лужності, мг-екв/л.

Іноді застосовують Н-катіонування з “голодною” регенерацією, при якій витрачають кількість кислоти, недостатню для повного витиснення з катіоніту кальцію та магнію. Такі фільтри видаляють із води тільки солі карбонатної твердості і доцільні до застосування при лужності води більше 3 мг-екв/л.

Розрахунок водень-катіонітових фільтрів ведеться в тій же послідовності, що і натрій-катіонітових. Довідкові дані та формули для розрахунку фільтрів і дегазатора наведені в СНиПі.

### 3.4.2 Водень-натрій-катіонування води

Послідовне водень-натрій-катіонування води застосовується для обробки сильно мінералізованих вод із солемістом більш ніж 1000 мг/л, схема споруджень по цьому методі наведена на рис. 3.4.

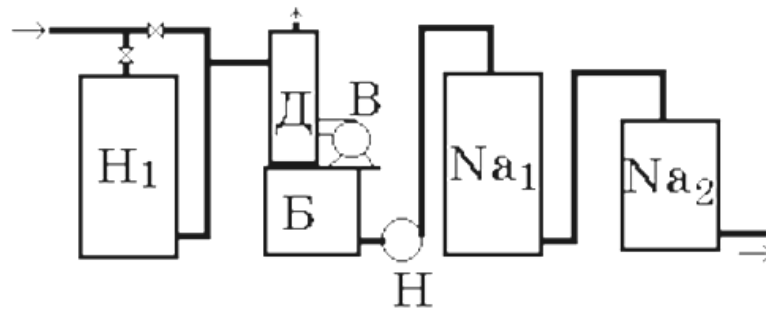


Рис. 3.4 – Схема послідовного натрій-катіонування води:

$H_1$  - водень-катіонітовий фільтр;  $Na_1, Na_2$  - натрій-катіонітові фільтри першого і другого ступеня; Д - дегазатор; Б - бак; Н - насос; В – вентилятор

У цій схемі частина води проходить через фільтр  $H_1$ , а частина проходить мимо його. Суміш цих потоків води надходить на дегазатор для видалення диоксида вуглецю та далі на дві ступені натрій - катіонітових фільтрів. Основною перевагою цього процесу є глибоке видалення солей твердості та гарне використання обмінної ємності Н-Фільтрів.

При паралельному Н-Na-катіонуванні, схема якого наведена на рис. 3.5, також, як і в попередньому випадку частина води проходить через Н-фільтр, а частина через - Na-фільтр.

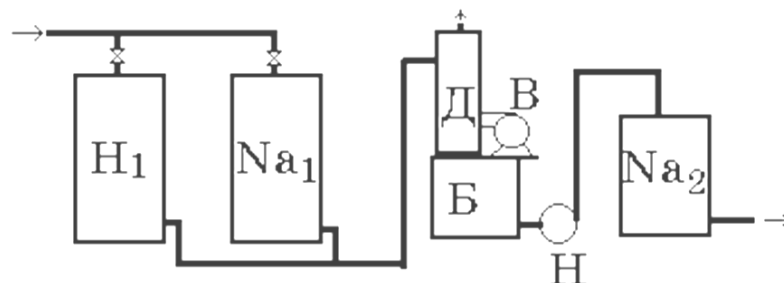


Рис. 3.5 – Паралельне Н-Na-катіонування

Далі суміш потоків подається на дегазатор і при необхідності проходить обробку на Na-Катіонітовом фільтрі другого ступеня. Основною перевагою даної схеми є одержання води з мінімальною лужністю, що необхідно при живленні казанів високого тиску.

До недоліків можна віднести зниження ефекту зм'якшення при більших концентраціях натрію у вихідній воді. Розрахунок фільтрів і дегазаторів у цих схемах не має істотних особливостей.

### 3. ПРИНЦИПОВІ СХЕМИ ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ ІОННИМ ОБМІНОМ

#### 4.1 Апарати з нерухливим шаром іоніту

У виробничій практиці широко поширені іонообмінні установки періодичної дії з нерухливим шаром іоніту. Типовий іонообмінник (рис. 4.1) являє собою вертикальний циліндричний апарат, усередині якого на опорних ґратах розташований шар гранульованого іоніту. Для рівномірного розподілу розчину, що очищається, по перетині апарата служать спеціальні розподільні пристрої.



Рис. 4.1 – Іонообмінний апарат з нерухливим шаром іоніту

Для запобігання віднесення часток смоли зверху неї закривають сіткою з нержавіючої сталі або полімерних матеріалів. Висота колони повинна бути значно більше висоти шару смоли, щоб дати можливість перейти шару в псевдорозріджений стан при промиванні смоли восходним потоком. Цикл роботи такої установки складається із чотирьох стадій: іонообмін; відмивання іоніту від стічних вод; регенерація іоніту; відмивання іоніту від розчину, що регенерує.

На першій стадії розчин, що очищується, подається у верхню частину апарата через розподільний пристрій. Розчин самопливом рухається долилиць і виводиться з нижньої частини апарата. На другій стадії в апарат подається промивна вода. Подача води здійснюється насосом знизу нагору. Шар іоніту при цьому переходить у псевдорозріджений стан. При промиванні іоніту таким способом відбувається не тільки його відмивання від вихідного розчину, але й видалення із шару іоніту механічних домішок, що нагромадилися в ньому. При роботі апарата в каскаді з іншими апаратами того ж призначення, у якості промивної води може бути використана вода, що очищується. У цьому випадку промивна вода після відділення з неї механічних домішок направляється в інший апарат для очищення. Після відмивання іоніту проводиться його регенерація. Розчин, що регенерує, подають в апарат зверху, так само як і вода,

що очищується. У якості регенерируючих розчинів залежно від типу іоніту використовують розчини кислот і лугів.

По закінченні стадії регенерації проводять ретельне відмивання іоніту від регенерату, знесолоною водою або конденсатом, подаючи його зверху до низу. Каскад апаратів періодичної дії може працювати за безперервною схемою з перемиканням потоків.

#### **4.2. Апарати у яких рухається або кипить шар іоніту**

В апаратах у яких рухається або кипить шар іоніту вдається досягти більшої швидкості процесу за рахунок зняття зовні дифузійного гальмування і більш повно використовувати ємність іоніту за рахунок ліквідації застійних зон у шарі. Конструкції апаратів із шаром, що рухається, іоніту (рис. 4.2) являють собою вертикальні колонні апарати із сітчатими тарілками та переливними пристроями. Розчин, що очищається, рухається знизу нагору зі швидкістю, що забезпечує псевдорозрідження шару іоніту на тарілці. Регенований іоніт безупинно подається на верхню тарілку, звідки через переливний пристрій «стікає» на нижележачую тарілку і т.д. З нижньої тарілки відпрацьований іоніт безупинно подається на регенерацію. Регенерацію та відмивання іоніту проводять в окремому апараті.

Безперервний процес із киплячим шаром іоніту (рис. 4.3) проводять у каскаді реакторів з перемішуванням. Для перемішування іоніту усередині реактора і для транспортування його з реактора в реактор використовують пневматичні пристрої типу ерліфта.

Центральна ерліфтна труба служить для перемішування суспензії іоніту в розчині, а бічна - для перекачування іоніту (разом з невеликою частиною розчину, що очищається,) у реактор попереднього каскаду. Оскільки в апарат безупинно подається стиснене повітря, кришку на апарат не встановлюють. Для виключення розбризкування розчину у верхній частині апарата встановлена тонка металева сітка. Розчин, що очищається, і іоніт рухаються через каскад апаратів у режимі противотока, що дозволяє домогтися високого ступеня використання обмінної ємності іоніту. Реактори з ерліфтным перемішуванням не мають частин, що рухаються, і тому прості по конструкції та надійні в експлуатації.

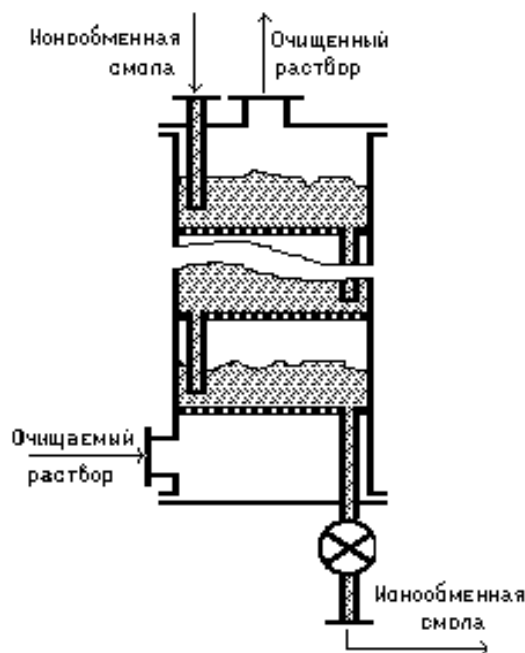


Рис. 4.2 – Інообмінний апарат з іонітом, що рухається

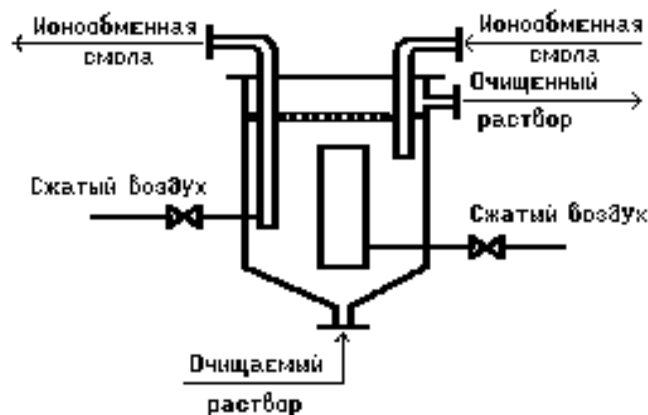


Рис. 4.3 – Іоннообмінний апарат з киплячим іонітом

Для очищення води як від катіонів, так і від аніонів застосовують два послідовно з'єднаних апарати з катіонітом і аніонітом або один апарат із сумішшю катіоніту та аніоніту.

Іонітні установки безперервної дії з безупинно або періодично циркулюючими смолами мають наступні переваги:

1. Малі виробничі площі.
2. Повна автоматизація.
3. Можлива установка одного пристрою (у такий спосіб заощаджуються капітальні витрати в порівнянні зі звичайною системою зі змішаним шаром або двома системами, що працюють альтернативно).
4. Більше малий обсяг смоли.
5. Якість обробленої води порівнянно з якістю води після противоточної системи з фіксованим шаром.

6. Краща ефективність регенерації.

7. Безперервний потік регенераційних рідин дозволяє уникати розведення на початку процесу в застійних зонах і полегшує їхню нейтралізацію.

8. Більше низьке споживання на власні потреби.

У всіх установках безперервної дії смола тече проти очищуваного розчину. Виснаження, регенерація і стадії відмивання відбуваються одночасно в різних колонах або в різних секціях однієї колони. Однак труднощі, пов'язані із циркуляцією смоли та більше швидким виснаженням, у порівнянні зі змішаним шаром, і комплексна конструкція безперервної системи, обмежили їхнє успішне застосування. У цей час найбільш широко використовуються противоточні процеси. Однак варто згадати про деяких системах безперервної дії, що добре зарекомендували себе в роботі:

а) процес Асахі [38], запропонований у Японії та згодом розроблений у Франції компанією Degremont (рис 4.4);

б) процес Хігінса

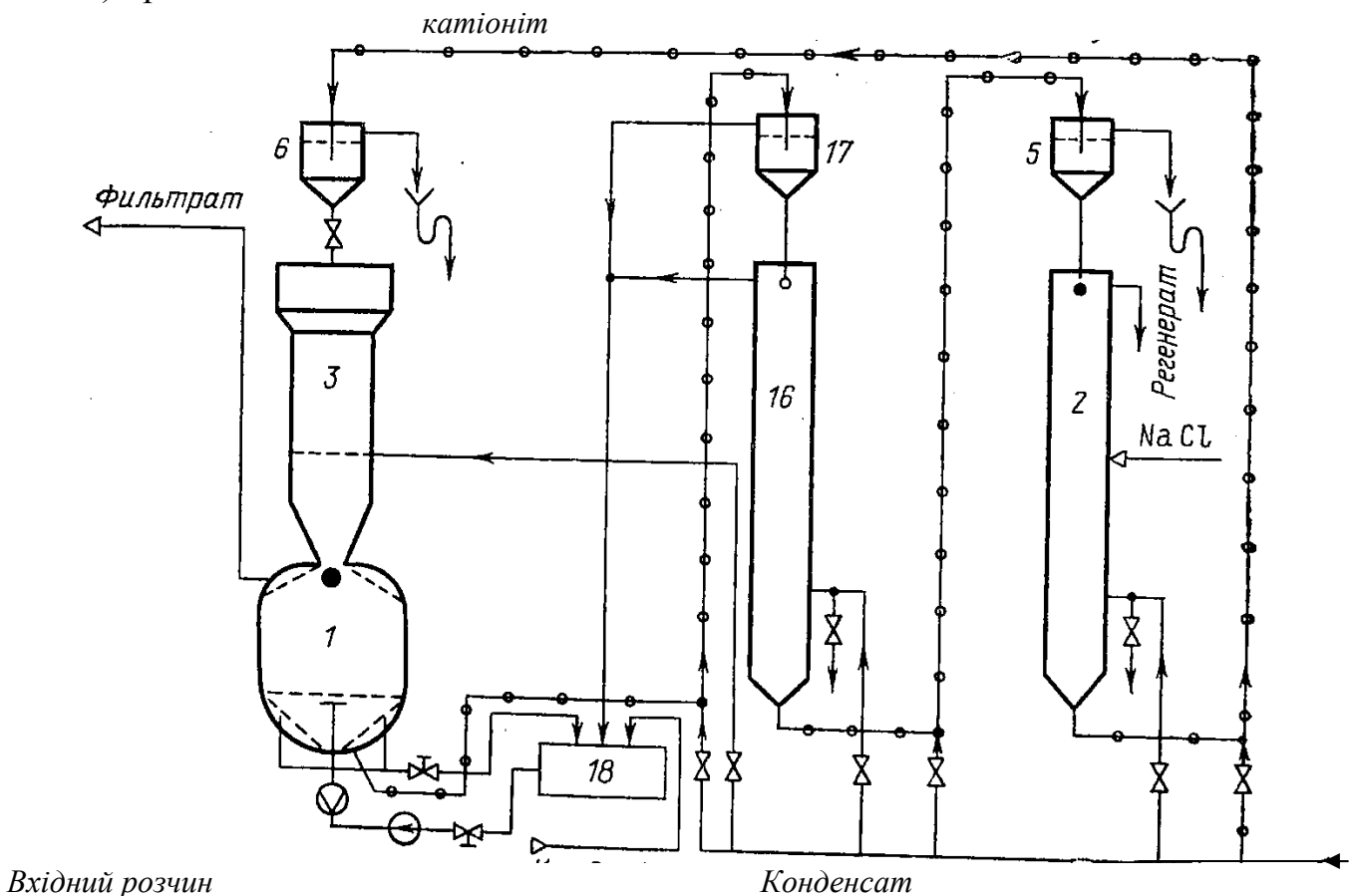


Рис. 4.4 – Процес Асахі:

1 – сорбційна колона; 2 – регенераційна колона; 3 – відмивочна колона; 4-6, 17 – дозатор смоли; 7 – зворотній клапанбак зберігання кислоти; 16 – колона витискання; 18 – ємкість для накопичення вхідного розчину

### 4.3. Апарати зі змішаним шаром іонітів

Для очищення води як від катіонів, так і від аніонів застосовують два послідовно з'єднаних апарати з катіонітом і аніонітом або один апарат із сумішшю катіоніту та аніоніту (мал. 4.5).

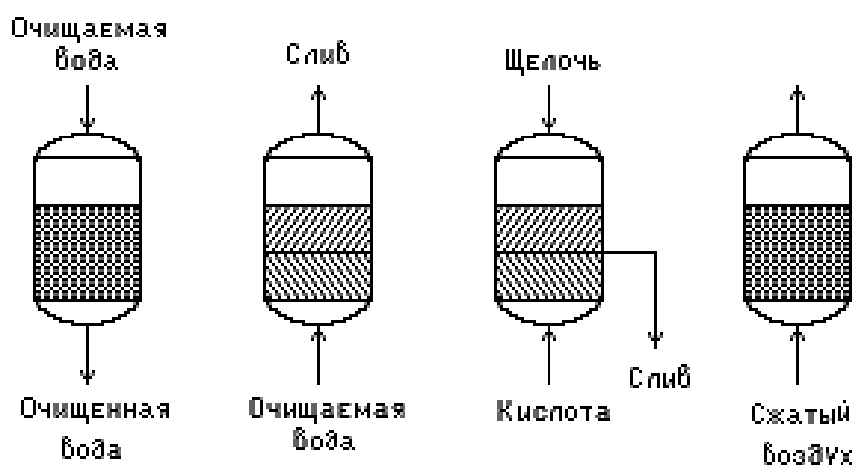


Рис. 4.5 - Апарат зі змішаним шаром іонітів

Під час робочої стадії обидва іоніти перебувають в апараті у вигляді однорідної суміші. При промиванні апарата висхідним потоком іоніти розшаровуються: більш легкий аніоніт концентрується у верхній частині псевдорозрідженого шару, а більш важкий катіоніт - у нижній. Регенерацію смол проводять одночасно. При цьому розчин лугу для регенерації аніоніту подають в апарат зверху, а розчин кислоти для регенерації катіоніта - знизу. Витрати і концентрації розчинів, що регенерують, підбираються таким чином, щоб запобігти їх проникненню через границю розділу іонітів. На цій границі розчини, що регенерують, взаємно нейтралізуються та виводяться через бічний зливальний патрубок.

Після регенерації та промивання апарат продувають знизу стисненим повітрям. Оскільки розходження в щільності катіоніта та аніоніту стосовно щільності повітря невеликі, то при переході шару іонітів у псевдорозріджений стан у повітряному потоці відбувається їхнє перемішування.

## 5. ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ РОЗЧИННИХ ГАЗІВ

Видалення з води розчинних у ній або утворених в процесі її обробки газів називають дегазацією. Звичайно з води доводиться видаляти вуглекислоту, сірководень, кисень і рідше метан. Перші три корозійно активні гази обумовлюють або каталізують процеси корозії металу, а диоксид вуглецю (IV) викликає корозію бетону. Метан, що виділяється з води в процесі її обробки, утворює із повітрям у приміщенні водоочистного комплексу вибухонебезпечну суміш, а сірководень надає воді неприємний запах. Крім того, при водень-катіоновому зм'якшенні та іонітовім знесоленні води, а також при знезалізованні та деманганації підземних бікарбонатних вод доводиться вирішувати завдання видалення вільної вуглекислоти. При підготовці живильної води, а також води теплоцентралей необхідно видаляти з її кисень із метою запобігання корозії металу. Звідси стає очевидною необхідність можливо повного видалення з води розчинених у ній газів. Існуючі методи дегазації води підрозділяють на фізичні та хімічні. Сутність фізичних методів дегазації полягає в наступному: вода, яка містить газ, що видаляється, приводиться в зіткнення з повітрям, якщо парціальний тиск цього газу в повітрі близько до нуля, створюються умови, при яких розчинність газу у воді стає мізерно малою.

*Існуючі методи дегазації води підрозділяють на фізичні та хімічні.* Сутність фізичних методів дегазації полягає в наступному: вода, що містить газ, що видаляється, приводиться в зіткнення з повітрям, якщо парціальний тиск цього газу в повітрі близько до нуля, створюються умови, при яких розчинність газу у воді стає мізерно малою.

За допомогою першого прийому, тобто аерації води, звичайно видаляють вільну вуглекислоту та сірководень, оскільки парціальний тиск цих газів в атмосферному повітрі близько до нуля. До другого прийому звичайно прибігають при обескислорожуванні води. У цьому випадку через значний парціальний тиск кисню в атмосферному повітрі аерацією води кисень видалити не можна, тому воду доводять до кипіння, тоді розчинність всіх газів у ній падає до нуля. Для цього застосовують або нагрівання води (у термічних деаераторах), або зниження тиску до величини, при якій вода кипить без додаткового підігріву у вакуумних дегазаторах.. Для видалення з води розчинених газів застосовують кілька типів дегазаторів: плівкові з різного роду насадками, що працюють в умовах протипотока дегазируємої води та повітря, що подається вентилятором, барботажні, пінні, вакуумно-ежекційні, вакуумні.

У техніці водопідготовки для видалення газів (крім кисню) в основному застосовують плівкові дегазатори, а для обескислорожування води вакуумні дегазатори або термічні деаератори. Барботажні дегазатори використовують у виняткових випадках через їх порівняно високу експлуатаційну вартість (велика витрата електроенергії на компресію повітря).

Самим поширеним типом дегазатора для глибокого видалення з води вільного диоксида вуглецю (IV) вважають плівковий дегазатор, завантажений кільцями Рашига. Він забезпечує найбільш стійкий ефект дегазації,



довговічний, вимагає меншої площі та висоти, а також меншої витрати повітря, чим дегазатор з дерев'яною хордовою насадкою.

Будівельна вартість его близька до вартості дегазаторів з дерев'яною насадкою, а експлуатаційна вартість нижче, особливо для установок великої продуктивності. Найбільше доцільно застосовувати ці дегазатори на великих установках і при великому змісті вільного діоксида вуглецю (IV) у воді, що надходить у дегазатор. На мал. 19.2, а) наведена схема плівкового дегазатора з насадкою з кілець Рашига, розташовуваної на проміжній дірчастій перегородці, що відстоїть від дна на відстані 600 мм. У піддон вентилятором подається повітря. Вода надходить у верхню частину дегазатора і рівномірно розподіляється по перетині плитою, що має 48 патрубків для зливу води в насадку та 8 патрубків з ковпаками для виходу повітря. Вода з піддонного простору проходить через гідравлічний затвор, висота якого  $h=1,2 \text{ Н}$  (де Н - максимальний напір, що розвивається вентилятором, Па).

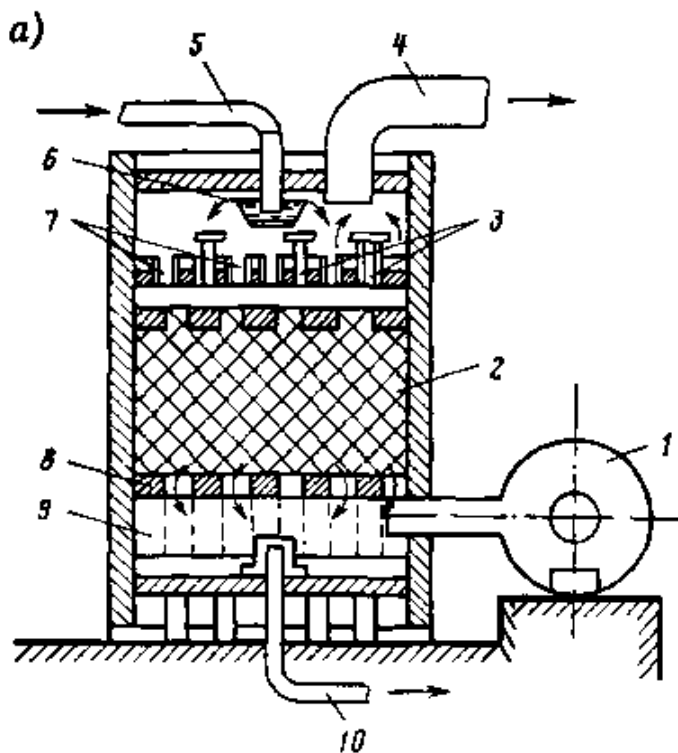


Рис. 5.1 - Схема плівкового дегазатора з насадкою з кілець Рашига

Після плівкового дегазатора з кільцями Рашига та подачею повітря вентилятором зміст діоксида вуглецю (IV) у воді становить не більше 3...5 мг/л. При видаленні сірководню цим методом варто підкисляти воду (до  $\text{pH}=5$ ) з наступним подлужнюванням її до необхідного значення  $\text{pH}$ , це дає значну економію витрати повітря.

Для видалення частини вільної вуглекислоти з води в процесі її деманганации або знезалізування (з метою підняття значення  $\text{pH}$  води до оптимального) також найбільше доцільно використовувати дегазатори, завантажені пластмасовими або керамічними кільцями Рашига та працюючі при подачі в них повітря вентилятором або вакуумно-ежекційні апарати. Застосування вакуумних дегазаторів спеціально для видалення з води вільної вуглекислоти доцільно тільки у випадках  $\text{H-Na}$  -катіонного зм'якшення або

іонітового знесолення підземних вод, коли в знесоленій або зм'якшеній воді лімітується зміст кисню. Вакуумні дегазатори варто застосовувати при необхідності запобігання кисневої корозії труб і апаратури (при підготовці води для живлення казанів і при обескиснюванні води в системах гарячого водопостачання) або коли наявність розчинених газів у воді, у тому числі й кисню, є шкідливим для технологічного процесу підприємства.

Для видалення з води метану або вільного сірководню також можна рекомендувати плівкові дегазатори, завантажені пластмасовими або керамічними кільцями. При водень-натрій катіонітовом зм'якшенні або аніонитовом знесоленні підземних вод для видалення вільної вуглекислоти варто застосовувати вакуумні дегазатори щоб уникнути насичення їхнім киснем.

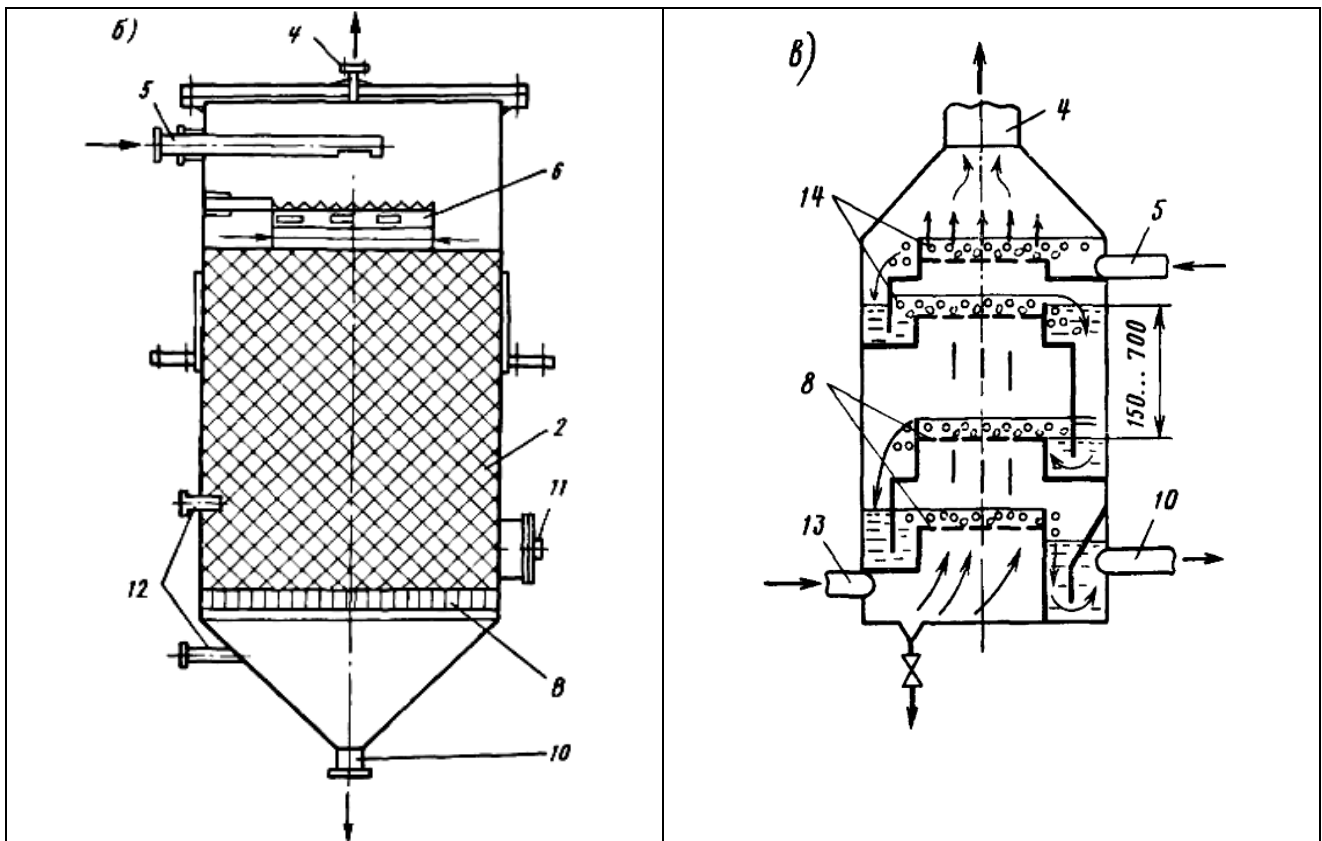


Рис. 5.2 - Плівковий (а) вакуумний (б) і пінний (в) дегазатор:

- 1- вентилятор; 2 - насадка з керамічних кілець Рашига; 3-газоотводной патрубков; 5, 10 - введення вихідної й відвід дегазованої води; 7- зрошувальні патрубки; 4 - видалення повітря; 9- піддон; 8- дірчасте днище;  
6- водорозподільна вирва; 11- люк; 12 - патрубки для водомірного скла;  
13- введення повітря; 14 - пінний шар

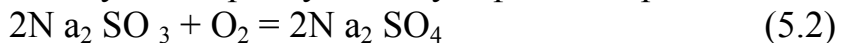
В основі **хімічних методів** видалення з води розчинених газів лежить їхнє хімічне зв'язування, що досягається введенням реагентів або фільтруванням через спеціальні завантаження. Для видалення з води кисню застосовують її фільтрування через легко, що окисляються речовини, наприклад, через сталеві стружки, і обробку сульфідом натрію або оксидом сірки (IV). При використанні сталевих стружок їх знежирюють і завантажують у спеціальний фільтр. Зміст марганцю в них не повинне перевищувати 0,3 %.

У процесі фільтрування залізо, окисляючись, зв'язує кисень



Оксид заліза (III) і гідроксид заліза (III), що утворилися в результаті корозії стружок, видаляють зворотним промиванням. Тривалість контакту води зі стружками залежить від температури і зменшується від 25 до 3 хв при збільшенні температури від 20 до 80 °С.

Частіше за все застосовують обробку води сульфідом натрію



або оксидом сірки (IV)



сірчиста кислота, що утвориться, окисляється киснем, що міститься у воді, до сірчаної кислоти:



Як каталізатор застосовують солі міді (II) або кобальту(II) у вигляді 0,01%-ного розчину. Для видалення 1 мг кисню витрачається 4 мг оксиду сірки (IV) або 7,9 мг сульфід натрію. Крім того, для видалення кисню воду обробляють також гідразин:  $\text{N}_2\text{H}_4$ . Гідразин є сильним киснепоглинаючим реагентом.

Крім хімічних способів окислювання сірководню використовують і біохімічний метод. Відомо, що велика участь в окислюванні сульфідних вод приймають серобактерии, які зустрічаються в сірчаних джерелах, стоячих водах і взагалі широко поширені в природі. Для інтенсивної діяльності серобактерій необхідно забезпечити нейтралізацію що утвориться  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Ця умова здійсненна в тому випадку, якщо вода містить достатню кількість карбонатів.

## **6. ОПРІСНЕННЯ ВОДИ МЕТОДОМ ДИСТИЛЯЦІЇ. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ Й ВИЗНАЧЕННЯ**

Дистиляційний метод ґрунтується на здатності води при нагріванні випаровуватися і розпадатися на прісну пару та солоний розсіл. Латинське «дистиλλαціо» означає переганятися з метою очищення або стікати краплями. Метод хронологічно є найбільш старим для опріснення води і широко застосовуваним. На сьогодні порядку 90% існуючої сумарної продуктивності опріснювачів світу забезпечується дистиляційними установками.

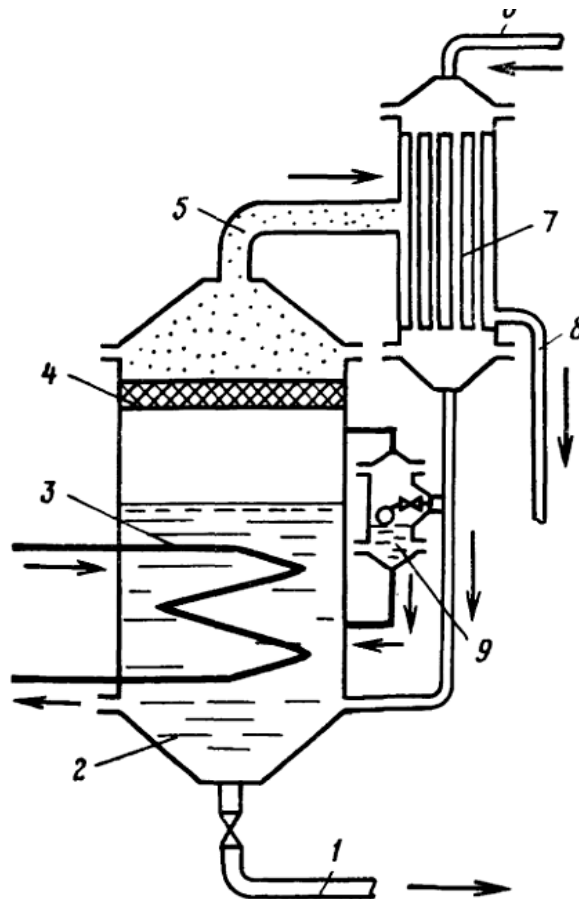
Існуючі дистиляційні опріснювальні установки можна класифікувати за технологією одержання прісної води, по конструктивному оформленню, по роду застосовуваної допоміжної апаратури. Крім цього, є істотне розходження в джерелах енергії, що витрачається на роботу установки. Так, зараз уже розроблені дистиляційні установки, розраховані на використання копалини палива, сонячної, електричної, атомної енергії і т.ін. Існують і так звані утилізаційні установки, що використовують низкопотенціальне непридатне тепло ТЭЦ, двигунів внутрішнього згорання, тепло газів, що відходять, і багато інших видів установок.

Принцип дистиляції заснований на тому, що при нагріванні солоної води до температури більше високої, ніж температура кипіння (при даному солевмісті й тиску), вода починає кипіти. Пара, що утворюється при тиску

менш  $50 \text{ кг/см}^2$ , практично не здатна розчиняти солі, тому при его конденсації виходить прісна вода. Для випару  $1 \text{ кг}$  води її необхідно нагріти до температури кипіння та потім повідомити додаткове тепло фазового переходу води в пару, так звану сховану теплоту паротворення, рівну при температурі  $100^\circ \text{C}$   $539,55 \text{ ккал/кг}$ . Щоб отриману пару перетворити у воду, потрібно з пари відняти тепло фазового переходу ( $539,55 \text{ ккал/кг}$ ). Значна частина цього тепла може бути повернута назад в установку, тобто рекуперована. Чим більше тепла фазового переходу рекуперовано, тим вище вважається теплова економічність дистиляційної опріснювальної установки.

По характері використання тепла і ступеня його рекуперації дистиляційні опріснювальні установки підрозділяються на одноступінчасті, багаступінчасті та термокомпресійні.

Принцип роботи одноступінчастої дистиляційної опріснювальної установки полягає в наступному (рис. 6.1).



*Рис. 6.1. - Схема одноступінчастої дистиляційної опріснювальної установки: 1 - скидання розсолу; 2 - випарник; 3 - подача теплоносія; 4 - сепаратор; 5 - відвід пари; 6, 8 - подача вихідної та відвід дистильованої води; 7 - конденсатор; 9 - регулятор рівня*

Вихідна солоня вода подається через конденсатор - підігрівник у випарник, де за рахунок тепла гріючої пари або гарячої води, що циркулює по трубах змієвика, розташованого в шарі води, вона нагрівається та випаровується. Пар, що утворюється (який називається вторинним) надходить

у конденсатор, де прохолоджується вихідною солоною водою і перетворюється в дистилат, що направляється споживачеві у вигляді прісної води. Тепло конденсації (539,55 ккал/кг) використовується для попереднього нагрівання підживлювальної солоної води випарника. Щоб виключити винос крапельок киплячої солоної води разом з паром випарника, передбачено спеціальний пристрій, що сепарує. Рівень води у випарнику підтримується за допомогою регулятора рівня. Звичайно у випарниках випарюється від 20 до 50 % поданої у нього солоної води. Розсіл, що залишився, періодично віддаляється з випарника. Обсяг випарника розділяють на водяний і паровий, кордон між ними називається дзеркалом випару. Відомі випарники із природною і штучною циркуляцією води, що випаровується, горизонтальні та вертикальні, працюючі под тиском пари нижче (вакуумні) і вище атмосферного.

Найбільше широко застосовують багатоступеневі випарні установки, більшою перевагою яких є те, що на одиницю первинної пари можна одержати значно більшу кількість знесоленої води.

Багатоступеневі дистиляційні опріснювальні установки (рис. 6.2) являють собою послідовно працюючі одноступеневі дистиляційні опріснювальні установки.

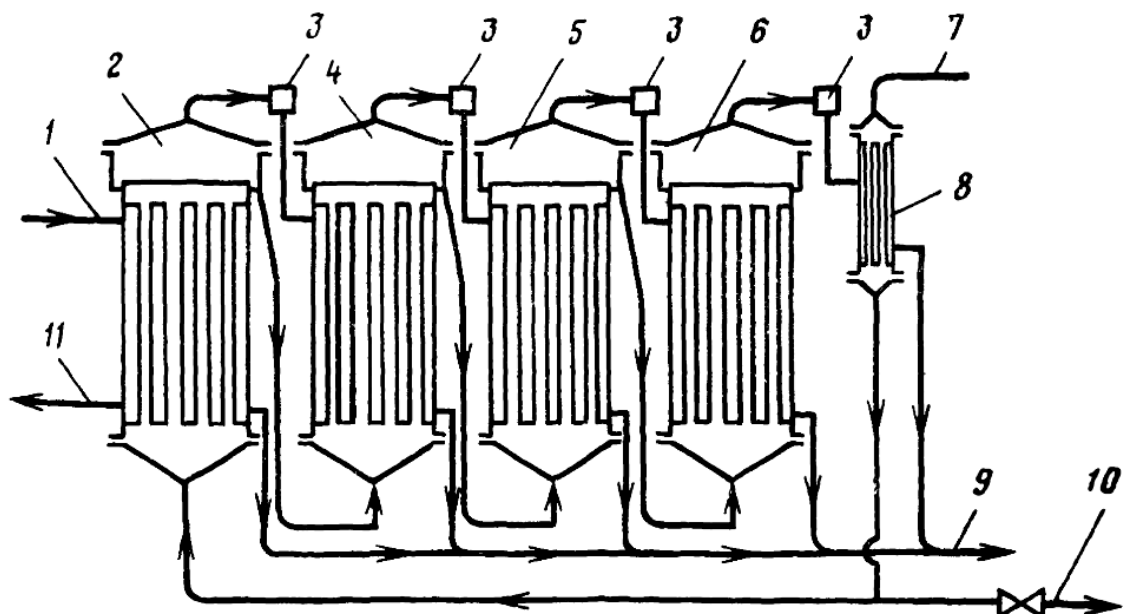


Рис. 6.2 - Багатоступінчаста дистиляційна установка: 1 - теплоносій; 2, 4, 5, 6 - випарник I, II, III і IV ступені; 3 - сепаратор, 7, 9 вихідна й опріснена вода; 8 - конденсатор; 10 - скидання розсолу; 11 - відвід конденсату в парогенератор

За такою схемою вторинна пара попереднього ступеня використовується як гріюча пара для випару води в наступнім ступені. Солона вода надходить у кінцевий конденсатор, де, прохолоджуючи пару останнього ступеня конденсує його, нагріваючись за рахунок тепла конденсації. Частина солоної води скидається в скид, а частина надходить на першу ступень випарника, де паром, що подається з вихідного парогенератора, вона нагрівається до температури кипіння. Пара при цьому конденсується, і конденсат відводиться в

парогенератор. Пара, що утворилася на першій ступені випарника, надходить через сепаратор у другий корпус випарника, де вона служить гріючою парою.

Солона вода, яка не випарилася в першому корпусі випарника, надходить у другий корпус, де нагрівається за рахунок тепла конденсації пари і знову частково випаровується при менших, чим у першому корпусі випарника, тиску та температурі. Якщо в першому корпусі температура кипіння становить  $100^{\circ}\text{C}$ , то в наступних трьох шаблях відповідно  $95^{\circ}\text{C}$ ,  $90^{\circ}\text{C}$ ,  $85^{\circ}\text{C}$ . Це досягається шляхом зниження тиску в наступних ступенях випарників. Відомо, що при зниженні тиску у випарнику нижче атмосферного температура кипіння солоної води знижується (наприклад, у грах вода закипає при температурі нижче  $100^{\circ}\text{C}$ ). Конденсат пари з кожного корпусу приділяється конденсатним насосом у бак опрісненої води. Зі збільшенням числа шаблів багатоступінчасті опріснювальні установки стають економічніше. Однак, зі збільшенням числа ступенів випару зменшується температурний перепад по кожній з них, збільшується загальна поверхня нагріву апаратів і відповідно різко зростають капітальні витрати на опріснювальну установку. При роботі дистиляційних опріснювальних установок відбувається відкладення солей, які утворюють шар накипу на елементах, що гріють, випарників і конденсаторів. Накип зменшує температуру нагрівання води, погіршує теплопередачу та роботу всіх агрегатів опріснювальної установки, у зв'язку із цим повинні бути вжиті заходи по попередженню утворення накипу або її видаленню, а, отже, заздалегідь планується періодична зупинка опріснювальної установки для очищення її від накипу. Очищення робочих поверхонь від накипу здійснюється технічним, механічним і хімічним шляхом. Зниження інтенсивності накипеобразования досягають введенням в оброблювану воду дрібнозернистих присадок: вапняку, кварцевого піску, крейди, гідроксида магнія та других речовин. Безнакипний режим роботи випарників досягається також створенням досить глибокого вакууму у випарниках, що дає можливість знизити температуру випаровується води, що, до  $50^{\circ}\text{C}$  і нижче.

## **7. НАКИПОУТВОРЕННЯ. ВИДИ НАКИПУ, ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ**

Вода є найкращим, з відомих, універсальних розчинників. Отже, будь-яка вода, якщо тільки вона спеціальним образом не приготовлена і збережена, містить у собі різні солі. Як відомо, наявність розчинених солей у воді надає воді властивість, називана твердістю. Розрізняють твердість *тимчасову та постійну*. Тимчасова твердість - це твердість, обумовлена солями, що переходять за певних умов з розчинної - у нерозчинну форму. Зокрема, це солі кальцію Ca, магнію Mg і ін. Один зі способів усунення тимчасової твердості - нагрівання води до температури кипіння, при цьому солі тимчасової твердості переходять у нерозчинну форму і випадають в осад. Цей осад називають накипом або твердими відкладеннями.

При роботі теплообмінного встаткування (казанів, теплообмінників, випарників, охолоджувачів і т.п.) на поверхнях нагрівання утворюються відкладення накипу ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaSiO}_3$ , окисли заліза й ін.). Внаслідок

цього погіршується теплопередача - теплопровідність накипу в десятки разів нижче, ніж у металу; знижується економічність і продуктивність устаткування - при шарі накипу в 1 мм перевитрату палива становить  $2 \div 2,5\%$ , а при 5 мм - до  $10 \div 15\%$ . Через перегрів металу і корозії під шаром накипу скорочується термін служби металу труб, відбуваються аварії металоконструкцій теплообмінних агрегатів (свищі, вздуття, розриви). Наявність кипіння на поверхні труб забезпечує надійне охолодження стінок поверхонь нагрівання казана, тому що температура металу труб з боку газів перевищує температуру кипіння води лише на  $15 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Так, при розрахунковому тиску в жаротрубному казані 0,6 МПа температура насичення дорівнює  $159\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а максимальна температура стінки металу з боку газу не перевищує  $183\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У таких умовах строк роботи углеродистої сталі - кілька десятків років.

Однак по вище викладених причинах, при погіршеній водопідготовці і одноконтурній схемі включення казанів, якщо у воді перебувають солі твердості, при кипінні води на поверхні утворюються щільні кальцієві відкладення, які істотно збільшують термічний опір стінки. Для казанів КСВа, «ВК» один міліметр накипу при високих теплових потоках у жаровій трубі збільшує температуру стінки — на  $100 - 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При товщині накипу 3 мм і більше температура металу досягає вже  $500$  і більше  $^{\circ}\text{C}$ , при цьому вуглецева сталь втрачає свою міцність, на жарових трубах з'являються здуття, трубні ґрати поворотної камери жолобляться, а труби газотрубних пучків перегоряють. Такої ж проблеми виникають при експлуатації імпортованих казанів. При типових порушеннях водопідготовки, при яких відбувається погіршення стану металу поверхонь нагрівання ГЖК, утворюються тріщини в трубній дошці, перегорання труб газотрубних пучків і ін., у фіналі - повне руйнування казана. Також, по закінченні опалювального сезону доводиться виконувати трудомістку та дорогу процедуру видалення накипу з поверхні нагрівання казанів і теплообмінної апаратури. І також, накип зменшує перетин труб, збільшуючи їхній гідроопір, а це спричиняє додаткові втрати електроенергії в насосному встаткуванні на перекачування води.

Щоб виключити можливість аварій і продовжити термін служби встаткування між профілактиками, необхідно, яким-небудь образом виключити можливість утворення на теплообмінних поверхнях шару відкладень. Існують **фізичні й хімічні** способи зм'якшення води. Для хімічного зм'якшення використовуваної води потрібні значні витрати на спорудження й обслуговування хімводопідготовки. Зм'якшення води за допомогою іонообмінних матеріалів або введення комплексонів у відкритих системах теплопостачання, а також при нагріванні води для гарячого водопостачання, як правило, не економічно та екологічно шкідливо. Крім того, у більшості випадків, хімічні реактиви самі сприяють руйнуванню металоконструкцій.

**Ультразвуковий метод** запобігання накипоутворення заснований на дослідженнях, що проводилися в Україні з кінця 50-х років. При впливі на воду ультразвукових коливань утворюється безліч постійних центрів кристалізації, що зміщуються, це ускладнює ріст і осадження кристалів накипу на теплообмінних поверхнях устаткування. Ультразвукові коливання сприяють інтенсивному

утворенню нових центрів кристалізації в обсязі води й відбувається утворення шламу в масі рідини. У результаті впливу ультразвукових коливань спостерігається або припинення утворення відкладень, за рахунок порушення умов кристалізації, або розпушення накипу, що утвориться. У шарі накипу під впливом ультразвукових коливань утворюються мікротріщини, які, накопичуючись, приводять до руйнування відкладень, що були, і до очищення встаткування. Шлам видаляється зі струмом води або продувкою. Варто врахувати, що даний метод фізичний і діє на всі види солей і органічних відкладень незалежно від їхнього хімічного складу. Бажано, після теплообмінного агрегату, що захищений ультразвуковими установками, установити фільтруючий пристрій, що затримує зважений коагулірований накіп, щоб не засмічувати споживачів. Даний метод є найбільш ефективним і універсальним з безреагентних фізичних методів, економічний, екологічно чистий, безпечний для встаткування й персоналу. Може сполучатися з уведенням комплексонів і хімводопідготовкою води.

Крім того, ультразвукові коливання роблять руйнуючу дію на накіп, що утворилася раніше. Ультразвукові коливання, впливаючи на поверхню нагрівання, створюють знакозмінні механічні зусилля, під впливом яких міцність зв'язку усередині карбонатних відкладень, а також між карбонатним відкладенням і металом порушується, і при цьому утворюються тріщини. Вода під дією капілярних сил проникає через тріщини-капіляри до поверхні нагрівання, де вона миттєво випаровується, викликаючи спучування та відшаровування карбонатних відкладень. Дрібні частки, що відшарувалися, і лусочки (чешуйки) карбонатних відкладень накопичуються у нижній частині тепло-обмінного встаткування та видаляються періодичною продувкою.

Дія ультразвуку не обмежується тільки запобіганням утворення карбонатних відкладень і збереженням за рахунок цього ефективності теплотехнічного встаткування. Ультразвукові коливання збільшують теплопередачу поверхні, що гріє, за рахунок мікропотоків, утворених коливаннями стінок труб і води в них, і підвищення швидкості потоку води через зниження гідродинамічного опору труб з коливними стінками. Під дією ультразвуку поліпшується відвід пухирців пари від поверхні нагрівання і дегазація води внаслідок кращого перемішування рідини на границі двох середовищ метал - рідина, що також сприяє збільшенню теплопередачі. Явище зниження гідродинамічного опору особливо ефективно проявляється у вузьких мікронних щілинах природних дефектів внутрішніх поверхонь труб, де у звичайних умовах (без ультразвуку) у теплообмінному встаткуванні зберігається кисень із повітря, а при впливі ультразвукових коливань він легко виходить із цих щілин.

У результаті цього виключається один з механізмів кисневої корозії металу труб. Тривалий вплив ультразвукових імпульсів на внутрішню поверхню труб, що має дефекти у вигляді мікротріщин, проізолює деформацію найбільш податливих ділянок поверхні поблизу мікротріщин. Завдяки цим деформаціям відбувається наклеп країв тріщин, у результаті чого вони виявляються закритими й не піддатливими щодо проникнення в них кисню



при зливі води з устаткування. Внутрішня поверхня труб стає гладкою, і повна площа її різко зменшується, що приводить до зменшення ймовірності корозії. Одержаний у такий спосіб ефект корозійного захисту в якомсь ступені замінює пасивацію внутрішньої поверхні труб.

### **СПИСОК ДЖЕРЕЛ**

1. Запольський А.К. Водопостачання, вдовідведення та якість води. - К.:Вища школа, 2005. – 671 с.
2. Копылов А.С. Водоподготовка в енергетику. / Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф.- М.: Изд-У МЭИ, 2003. – 309 с.
3. Душкин С.С., Сорокіна Е.Б., Благодарна Г.І. Водопостачання й каналізація: конспект лекцій. - Х.: ХГАГХ, 2001.
4. Водоподготовка: справочник. / Под ред. С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
5. Громогласов А.А. Водоподготовка: Процесси и аппараты: Учеб. пособие для вузов / А.А.Громогласов, А.С.Копылов, А.П.Пильщиков; Под ред. О.И. Мартыновой. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
6. Водопостачання (Навчальний посібник) // Найманов А.Я., Никиша С.Б., Насонкина Н.Г., Омельченко Н.П., Маслак В.Н., Зотов Н.И., Найманова А.А.-Донецьк: Норд-комп'ютер, 2006 – 654 с.
7. Кишневський В.А. Сучасні методи обробки води в енергетиці: Навчальний посібник для студентів спеціальностей «Теплоенергетика», «Атомна енергетика» та експлуатаційного персоналу ТЕС і АЕС. - Одеса: ОГПУ, 1999. – 196 с.
8. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен у процессах водоподготовки и очищения сточных вод/ А. М. Когановский - К. : Наукова думка, 1983. – 240 с.
9. Процеси й апарати хімічної технології: [підручник в 2-х частинах]. / Л.Л. Товажнянский, А. П. Готлинская. - Харків. : НТУ, «ХПИ», 2005. – 532 с.
10. Серпионова Е.Н. Промислова адсорбція газів і пару: [учбов. посібник для студ. вищ. навч. закладів] / Е. Н. Серпионова- М. : Вищ. шк., 1969. – 416 с.

Навчальне видання

**ТКАЧОВ В'ячеслав Олександрович**  
**ЧУБ Ірина Миколаївна**

Конспект лекцій з дисципліни «Водопідготовка в системах ТГП і В »  
(для студентів 5 і 6 курсу всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти  
спеціальностей 7.092108, 8.092108 (7.06010107, 8.06010107)  
«Теплогазопостачання і вентиляція»).

Відповідальний за випуск *К. Б. Сорокіна*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2010, поз. 59 Л

---

Підп. до друку 20.05.11  
Друк на ризографі.  
Зам.№

Формат 60х84/16  
Ум. друк. арк. 2,9  
Тираж 50 пр.

---

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреси: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.